

SEGURIDAD INDUSTRIAL: AYUDA CON PROGRAMACION META
(Industrial security: Aid with global programming)

José G. Hernández R.

Universidad Metropolitana, Escuela de Ingeniería de Sistemas. Caracas Venezuela.

jhernandez@unimet.edu.ve

&

María J. García G.

Minimax Consultores C.A. Gerencia General. Caracas 1074. Apartado 78239. Venezuela

Minimaxconsultores@yahoo.com

Resumen

Dada la importancia de minimizar todos los riesgos de accidentes industriales, pero a la vez minimizar los costos involucrados en prevención e indemnización de los mismos, surgió el objetivo de este trabajo, que se puede enunciar: Construir un modelo matemático, que en forma sencilla y directa, permita, evaluar y optimizar la inversión de recursos de prevención, en una organización, para minimizar los accidentes industriales. Se logra en este trabajo, siguiendo como metodología enfoque científico aplicado a la Investigación de Operaciones, no sólo construir un modelo de programación meta, que ayuda a controlar los accidentes industriales, sino que se hace una ilustración hipotética del mismo, permitiendo así obtener un conjunto de conclusiones y recomendaciones.

Palabras claves: Seguridad industrial, accidentes industriales, programación meta, modelos matemáticos, sistemas de apoyo de decisiones.

Introducción

Las industrias consideradas de riesgo mayor, invierten una gran cantidad de horas hombres con el objetivo de lograr obtener el mayor tiempo posible de horas de trabajo, sin accidentes que lamentar, entendiéndose sin pérdidas de vidas o daños mayores a los empleados, ya que se reconoce lo costoso que estos accidentes pueden resultar para la organización. Sin embargo estas inversiones en tiempo, dinero y otros recursos, para prevenir accidentes, no puede ser indiscriminada, sino que se debe adaptar a la situación real de cada organización. Bajo esta óptica, de minimizar todos los riesgos de accidentes, pero a la vez minimizar los costos involucrados en prevención, ha surgido el objetivo de este trabajo, que se puede enunciar: Construir un modelo matemático, que en forma sencilla y directa, permita, evaluar y optimizar la inversión de recursos de prevención, en una organización, para minimizar los accidentes industriales.

Este objetivo general, a su vez genera un conjunto de objetivos específicos:

A) Entender que se manejará dentro de accidentes industriales. B) Analizar el tipo de modelos matemáticos a utilizar. C) Construir un modelo matemático que permita manejar la situación presentada y D) Evaluar el modelos visualizando la aplicación del mismo, como si fuese un sistema de apoyo a la toma de decisiones.

Metodología

Se seguirá la metodología utilizada para resolver problemas de toma de decisiones (Hernández & García, 2002), la cual aborda los problemas de toma decisiones sin pasar por el planteamiento de hipótesis, sino que sigue los siguientes pasos: a) Definir el problema.- enunciado de los objetivos, que se acaban de presentar. b) Búsqueda de datos.- orientados a los tipos de modelos matemáticos, que puedan ser útiles para resolver estas situaciones y a las variables en estos modelos; esto llevará a c) Definir alternativas.- definir los modelos que se trabajarán, que permitan resolver el problema de minimizar los recursos de prevención, a la vez que se minimizan los accidentes. Siguiendo los objetivos, se completarán las próximas etapas que son: d) Evaluar las alternativas y e) Seleccionar la mejor, para luego presentarla en sus detalles y analizar sus posibles soluciones, correspondiendo a f) Implementar la alternativa y finalmente, ilustrar a través de un ejemplo, lo que sería equivalente a g) Establecer controles.

Seguridad industrial y accidentes industriales

Al comentar seguridad industrial y accidentes industriales, se hace referencia a las catástrofes, causadas por el hombre, de las cuales, en su clasificación de los desastres Noji (2000), en los causados por el hombre señala: Industriales o tecnológicos.- Fallas en los sistemas o accidentes, sustancias químicas, radiación, derrames, contaminación, explosiones, incendios, terrorismo.

Por otra parte, siguiendo, entre otros, a Chiavenato (2000) y Lillibridge (2000), se puede decir que los desastres industriales, son los causados por las actividades tecnológicas en la sociedad, y que suelen representar amenaza para la salud y la vida, de allí que es fácil entender que los términos seguridad industrial y accidentes industriales están muy ligados y que una buena seguridad industrial, servirá para prevenir accidentes industriales.

En cuanto a higiene y seguridad industrial, siguiendo a Ferrari (2001), Haratani (2001) y Mata & Rodríguez (2003), se puede señalar que la generación y la emisión de agentes nocivos en el medio ambiente de trabajo pueden prevenirse mediante intervenciones adecuadas para controlar los riesgos, las cuales no sólo protegen la salud de los trabajadores, sino que reducen también los daños al medio ambiente que suelen ir asociados a la industrialización y que es un deber garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores en el lugar de trabajo, así como facilitar el desarrollo de entornos laborales confortables, y que la empresa no sólo debe cumplir las normas mínimas para prevenir los accidentes y enfermedades laborales, sino también debe intervenir activamente para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores en el puesto de trabajo.

Investigación de operaciones: Programación meta y entera

Partiendo de un trabajo anterior (Hernández & García, 2004), y siguiendo a Davis & McKeown, (1984), quienes hacen uso de la ecuación uno (Ec. 01), a Prawda (1977), quien usa la ecuación dos (Ec. 02), y a Ignizio (1976), que usa la ecuación tres (Ec. 03), se llega al modelo expresado en las ecuaciones uno (Ec. 01) a seis (Ec. 06):

$$\text{Min } \sum_{p=1,P} P_p (\sum_{i=m+1,m+M} (w_i^+ d_i^+ + w_i^- d_i^-)) \quad (\text{Ec. 01})$$

$$\text{Min } \sum_{i=m+1,m+M} d_i^+ + d_i^- \quad (\text{Ec. 02})$$

$$\text{Min } \sum_{i=m+1,m+M} (w_i^+ d_i^+ + w_i^- d_i^-) \quad (\text{Ec. 03})$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1,n} a_{ij} X_j \leq b_i \quad \text{con } i = 1,m \quad (\text{Ec. 04})$$

$$\sum_{j=1,n} a_{ij} X_j + d_i^- - d_i^+ = m_i \quad \text{con } i = m + 1, m + M \quad (\text{Ec. 05})$$

$$X_j, d_i^+, d_i^- \geq 0, \text{ para toda } i, \text{ y toda } j. \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde: p , que varía desde 1 hasta P , representa las prioridades de las desviaciones en las metas.

d_i^+ y d_i^- representan las desviaciones positivas y negativas, respectivamente en cada una de las M metas i , que van desde i igual $m + 1$ hasta $m + M$.

w_i^+ y w_i^- representan las ponderaciones o pesos, de cada una de las desviaciones positivas y negativas, respectivamente, en cada una de las prioridades, por lo cual el w_i será cero si la correspondiente desviación no está manejada con esa prioridad.

X_j , son las n variables intrínsecas del problema.

a_{ij} son los coeficientes tecnológicos, que miden la influencia de cada una de las n variables X_j tanto en las m restricciones, como en las M metas i .

b_i son los términos independientes en las m restricciones explícitas del problema.

m_i son los valores asignados a las M metas del problema

Es decir, dependiendo del autor, usará (Ec. 01), (Ec. 02) o (Ec. 03), para expresar la función objetivo, la cual siempre será de minimización, y las ecuaciones cuatro (Ec. 04) a seis (Ec. 06), que representarán las metas y restricciones del problema.

En cuanto a la programación entera se suele estudiar como una derivación de los problemas de programación lineal (PL) (Garfinkel & Nemhauser, 1972; Murty, 1976; Taha, 2003), donde se deben tener variables enteras, y se puede hablar de: a) programación entera pura (PEP), b) programación entera mixta (PEM), y si además se consideran las variables binarias, cero (0) o uno (1), se tendrían:

c) PEP binaria, es decir todas las variables son enteras binarias, d) PEP y binarios, todas las variables son enteras, algunas de ellas enteras binarias, e) PEM binaria, hay variables reales, enteras y enteras binarias, y f) PL y binarios, hay variables reales y variables enteras binarias.

Un modelo de PM para el control de accidentes industriales

Por escaparse del interés de este trabajo, no se darán detalles cuantitativos del modelo, sino que simplemente se enunciarán sus diferentes metas, y al final, un resumen de sus ecuaciones.

Meta de medidas preventivas (m1).- Número de medidas preventivas que se desean implementar.

Meta de minimización de costos por medidas preventivas activadas (m2).- Mínimo presupuesto para implementar medidas preventivas.

Meta de minimización de costos por indemnización (m3).- La indemnización es un costo alto, por lo cual se trata de minimizar, por lo menos, el dinero a erogar por accidentes.

Metas de minimización de accidentes sufridos por los operarios (m4i).- Se trata de I metas, una por cada operario i, en las cuales se busca minimizar los accidentes sufridos por cada uno de ellos.

Metas de minimización de accidentes sufridos en las regiones del cuerpo (m5j).- Se trata de J metas, una por cada región del cuerpo j considerada.

Metas de minimización de accidentes sufridos en las máquinas o zonas de la organización (m6k).- Se trata de K metas, una por cada zona o máquina k considerada.

El modelo completo quedaría:

$$\text{Min } Z_0 = P_1 (w_3^+ * d_3^+ + w_5j^+ * d_5j^+) + P_2 (w_4i^+ * d_4i^+ + w_5j^+ * d_5j^+ + w_6k^+ * d_6k^+ + w_7ijk^+ * d_7ijk^+) + P_3 (w_1^- * d_1^- + w_2^+ * d_2^+) \quad (\text{Ec. 09})$$

Sujeto a:

$$\sum_{me=1, Me} X_{me} + d_1^- - d_1^+ = m_1 \quad (\text{Ec. 07})$$

$$\sum_{me=1, Me} C_{tmme} * X_{me} + d_2^- - d_2^+ = m_2 \quad (\text{Ec. 08})$$

$$\sum_{i=1, I} (\sum_{j=1, J} C_{tinj} * (\sum_{k=1, K} N_{aeijk})) + d_3^- - d_3^+ = m_3 \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\sum_{j=1, J} \sum_{k=1, K} N_{aei} + d_4i^- - d_4i^+ = m_{4i} \quad \text{con } i = 1, I \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\sum_{i=1, I} \sum_{k=1, K} N_{aej} + d_5j^- - d_5j^+ = m_{5j} \quad \text{con } j = 1, J \quad (\text{Ec. 16})$$

$$\sum_{i=1, I} \sum_{j=1, J} N_{aek} + d_6k^- - d_6k^+ = m_{6k} \quad \text{con } k = 1, K \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\sum_{i=1, I} \sum_{j=1, J} N_{aeijk} + d_7ijk^- - d_7ijk^+ = m_{7ijk} \quad \text{con } i = 1, I, j = 1, J \text{ y } k = 1, K \quad (\text{Ec. 18})$$

$$\text{Con: } N_{aeijk} = \sum_{me=1, Me} X_{gijk} * (1 - f_{meijk} * X_{me}) + X_{pijk} * f_{meijk} * X_{me} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$N_{aei} = \sum_{me=1, Me} X_{gime} * (1 - f_{mei} * X_{me}) + X_{pime} * f_{mei} * X_{me} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$N_{aej} = \sum_{me=1, Me} X_{gjme} * (1 - f_{mej} * X_{me}) + X_{pjme} * f_{mej} * X_{me} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$N_{aek} = \sum_{me=1, Me} X_{gkme} * (1 - f_{mek} * X_{me}) + X_{pkme} * f_{mek} * X_{me} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$Y: X_{me}, N_{aeijk} = X_{ijk}, N_{aej}, N_{ae}, d_r^+, d_r^- \geq 0, \quad \text{para toda } me, i, j, k, \text{ y toda } r. \quad (\text{Ec. 19})$$

La primera prioridad la tienen la meta de minimización de costos por indemnización, igual que de las metas de minimización de accidentes por región del cuerpo, la referente a accidentes fatales, que producen la muerte del empleado, y tendrá una ponderación mayor al doble que la otra meta. En la segunda prioridad quedarían las metas de minimización de accidentes sufridos, tanto por los operarios, como en las regiones del cuerpo, excluyendo los accidentes fatales, como en las máquinas o zonas de la organización, como los accidentes generales, con una ponderación mayor a las metas de región del cuerpo, y dentro de ellas se le pueden dar distintas ponderaciones a las distintas regiones del cuerpo, según la clasificación seguida, y de acuerdo a las escalas usadas por las compañías de seguros. Para la ponderación tres quedarían las metas de minimización de costo por medidas preventivas y la meta de medidas preventivas, donde se pudiese tener una ponderación dos a uno de la primera, respecto a esta última.

Ilustración del modelo

Para ilustrar el modelo, se siguió un ejemplo hipotético, muy sencillo, del cual sólo se hará un breve comentario en este trabajo, puesto que de otra forma se haría muy extensa esta disertación.

Se van a suponer dos (2) trabajadores: H1 y H2; tres (3) regiones del cuerpo: Cabeza y torso (R1), Extremidades (R2) y Accidentes fatales (R3); y dos (2) zonas o máquinas en la empresa: K1 y K2. A

la vez que se dispondrá de cinco (5) medidas preventivas: M1, M2, M3, M4 y M5. Para cada uno de los aspectos: trabajadores, regiones del cuerpo y zonas o máquinas de la empresa se tendrán valores máximos y mínimos, de acuerdo a cada una de las medidas, las cuales a su vez tienen asociado un costo, y se tendrá un costo por indemnización, según la parte del cuerpo afectada, incluyendo allí, los accidentes fatales. Adicionalmente, para cada meta se tendrá un valor que es lo que se desea alcanzar, tal como se pudo ver en el modelo. Con todos estos parámetros se replantea el modelo, sustituyendo coeficientes por valores y se resuelve, llegando a unos resultados, los cuales se deben discutir de acuerdo a las metas planteadas. Parte de esta discusión se verá reflejada en las conclusiones y recomendaciones que se presentan a continuación.

Conclusiones y recomendaciones

Como primera conclusión se puede decir que los accidentes industriales, aunque pueden ser producto de catástrofes de origen natural, en general vienen dados por la acción del hombre, por lo cual se debe hacer uso de la relación de los términos seguridad industrial y accidentes industriales y entender que una buena seguridad industrial, servirá para prevenir accidentes industriales.

Por supuesto que se debe concluir que los objetivos propuestos en este trabajo, se alcanzaron a plenitud, puesto, que no sólo se consiguió un modelo basado en la programación meta, que permite evaluar la inversión de recursos en medidas preventivas, para la minimización de accidentes, sino que se logró ilustrar dicho modelo a través de un sencillo caso hipotético. El haber cumplido con los objetivos, a la vez permite concluir que si es válida la aplicación de las técnicas de Investigación de Operaciones, para resolver problemas, que si bien se encuentran centrados en la organizaciones productoras, son en sí, problemas de índole social, ya que el primer afectado es el hombre, y su relación con la sociedad a través del entorno productivo.

En particular es útil la aplicación de la programación meta, donde, como es el caso tratado aquí, los objetivos de la organización son contrapuestos, ya que por una parte se desea hacer la mínima inversión en medidas preventivas, pero a la vez se desea llevar los accidentes a un mínimo, que a simultáneamente permita minimizar los costos causados por los accidentes, que se están evitando.

Con respecto al modelo, aunque aquí no se presentó en detalles y su ilustración es muy simplificada, ya que expresar la complejas realidades de una organización productora, sería sumamente extenso, se puede observar que hay una serie de aspectos, los cuales fueron convertidos en metas, que se deben atender, destacando: Los costos causados por indemnización a los afectados por los accidentes, los accidentes fatales, accidentes sufridos por los diferentes empleados de una organización, así como los lugares, dentro de la organización, donde suceden los accidentes. También es interesante destacar, que aunque los accidentes son variables aleatorias, y los modelos de programación meta son de programación matemática determinística, con los conceptos de máximo, mínimo y factor de ajuste, utilizados en este trabajo, se puede establecer una aproximación bastante aceptable de la situación.

En cuanto a la ilustración hecha a través del caso hipotético, se llega a la conclusión que no siempre se pueden lograr las metas propuestas, en este caso, entre otras, no se pudo alcanzar la meta principal, es decir la de más alta prioridad y mayor ponderación, que era la minimización de egresos por indemnización por accidentes fatales, sin embargo, se pudo observar que no era un problema de la estructura del modelo, sino de la situación planteada, en particular, que no se disponía del número de medidas suficientes, que permitieran eliminar todos los accidentes contemplados.

También es importante destacar, que como en todo modelo de programación meta, los resultados obtenidos pueden diferir de acuerdo a las prioridades que use el tomador de decisiones. De lo anterior se puede decir que otro aspecto interesante al trabajar con metas, es la posibilidad que dan las mismas de ser incumplidas, sin que signifique una infactibilidad del problema, lo que permite visualizar soluciones, que aunque no óptimas, pueden ser aplicadas dando soluciones satisfactorias. A la vez, de acuerdo a las prioridades y ponderaciones que se les asignen a las diferentes metas, se pudiesen encontrar soluciones que se adapten mejor a los objetivos finales de la organización.

Esta gran flexibilidad de los modelos de programación meta, permiten a la vez, recomendarlos para resolver otros tipos de problemas donde pudiesen haber objetivos en conflictos, ya sea en el manejo de recursos humanos o financieros, e incluso en forma conjunta.

Finalmente se recomienda continuar las investigaciones acerca de los accidentes industriales, con el objetivo de afinar el presente modelo, o encontrar otros modelos, que puedan prestar una mayor ayuda a la toma de decisiones, sobre este problema, en todas las circunstancias que se pueda presentar.

De la misma forma se recomienda el uso de otras técnicas de la Investigación de Operaciones, para abordar este problema de los accidentes industriales, con el fin de conseguir una mejor solución a tan delicada situación, o reforzar la solución aquí propuesta.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por la Universidad Metropolitana, en especial el Decanato de Investigación y Desarrollo. Y a Minimax Consultores, C.A., a través de su gerencia de investigación.

Referencias

- Chiavenato, Idalberto (2000). Administración de recursos humanos. (María E. Fittipaldi, Trad.) 5a edición; Colombia: McGraw Hill.
- Davis, Roscoe & McKeown, Patrick (1984). Modelos cuantitativos para administración. (Díaz M., Alfredo y Fournier G., María, Traductores) México: Grupo editorial Iberoamérica.
- Ferrari Goelzer, Berenice I. (2001). Higiene Industrial. Objetivos, definiciones e información general en Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Vol. I, Cáp. 30. España: Ministerio de Trabajo y asuntos sociales. pp. 30.2 a 30.11.
- Garfinkel, Robert S. & Nemhauser, George L. (1972). Integer Programming U.S.A.: John Wiley & Sons.
- Haratani, Takashi (2001). Salud Mental. Estado de ánimo y afecto. Karoshi: Muerte por exceso de trabajo en Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Vol. I, Cáp. 5. España: Ministerio de Trabajo y asuntos sociales. pp. 5.20 a 5.23.
- Hernández R., José G. & García G., María J. (2002). La matriz indentificadora del tipo de producto (Maitipo) y su aplicación a las Pymes en Anales de la Universidad Metropolitana, Vol. 2, Nº 1, (Nueva Serie), págs. 63 a 78.
- Hernández R., José G & García G María J. (2004). Solución al problema de múltiples productos: Una aproximación con programación meta en Revista Investigación Operacional, Vol. 25, Nº 2, págs. 119 a 131.
- Ignizio, James (1976): Goal Programming and extensions Massachusetts USA: Lexington Books.
- Lillibridge, Scout R. (2000). Desastres industriales En Eric K. Noji (Ed), Impacto de los desastres en la salud pública (Fabio A. Rivas & Carlos A. Hernández Trad.). Colombia: Organización Panamericana de La Salud. pp. 354 – 372.
- Mata, Tatiana & Rodríguez, Nere (2003). Sistema de apoyo a la toma de decisiones para el control de accidentes industriales. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela.
- Murty, Katta G. (1976): Linear and combinatorial programming. U.S.A.: John Wiley & Sons.
- Noji, Eric K. (2000). Naturaleza de los desastres: sus características generales y sus efectos en la salud pública En Eric K. Noji (Ed), Impacto de los desastres en la salud pública (Fabio A. Rivas & Carlos A. Hernández Trad.). Colombia: Organización Panamericana de La Salud.
- Prawda W., Juan (1977): Métodos y modelos de investigación de operaciones Vol. 2. México: Limusa, S.A.
- Taha, Hamdy A. (2003). Investigación de operaciones. (V. González P.; G. Martínez del C.; B. Román T. & H. García R. Trad.) Séptima edición; México: Pearson – Prentice Hall.