

Técnicas de Modelación de Sistemas Blandos Aplicadas al Problema del Transporte Escolar

Ocotlán Díaz-Parra¹, Marco Antonio Cruz-Chávez¹, Damaris Galván-Montiel¹,
Crispín Zavala-Díaz²

¹CIICAp, ²FCAeI, Universidad Autónoma del estado de Morelos, Avenida Universidad
1001. Col. Chamilpa, C.P. 62210. Cuernavaca, Morelos, México.
{odiazp,mcruz,damaris,crispin_zavala}@uaem.mx

Resumen. En este artículo se aplica la metodología para sistemas blandos de Checkland en combinación con la metodología de despliegue de la función de calidad para el análisis de un problema NP-completo. Se demuestra que estas metodologías se pueden adaptar para el análisis de problemas duros. Como ejemplo, se presenta una forma de combinación de las metodologías para realizar el análisis de un problema de transporte escolar.

1 Introducción

La metodología Checkland (SSM *Soft System Methodology* por sus siglas en inglés) fue propuesta por Peter Checkland [1,2] con el propósito de analizar sistemas blandos, según Checkland, “un sistema blando es aquel que está conformado por actividades humanas, tiene un fin perdurable en el tiempo y presenta problemáticas in estructuradas o blandas; es decir aquellas problemáticas de difícil definición y carentes de estructura, en las que los fines, metas, propósitos, son problemáticos en sí.”. La metodología consta de siete pasos que se ilustran en la Figura 1. De la Figura, en el paso 2 se utilizan dos procesos, el CATWDA [2] y *Rich Picture* [3]. En el proceso CATWDA se identifica el cliente, el actor, la transformación, el punto de vista, el dueño y el ambiente. El *Rich Picture* proporciona un mecanismo para aprender sobre problemas complejos o mal definidos, representando éstos por diagramas, los cuales no siguen una sintaxis en especial, generalmente consisten en símbolos y bosquejos y pueden contener tanta información como sea necesaria. El valor verdadero de *Rich Picture* es la manera que fuerza al creador a pensar profundamente en el problema y entenderlo bastante bien para expresarlo en un diagrama. Por otro lado la metodología de despliegue de la función de calidad (QFD *Quality Function Deployment*, por sus siglas en inglés), surge por la necesidad de querer traducir variables cualitativas e intangibles en cuantitativas y tangibles con respecto a la manufactura de productos, este proceso de traducción no es fácil. Guinta y Praizler [4], enfocaron para el proceso de manufactura tres aspectos: “decidir lo importante, diseñar para reducir la variabilidad y optimizar el producto”, lo que da como resultado el despliegue de la función de calidad.

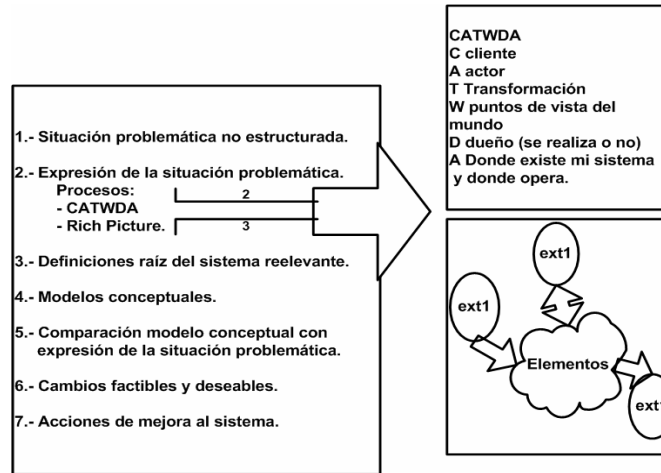


Fig. 1. Pasos de la metodología Checkland

Utilizando en combinación las dos metodologías antes mencionadas da como resultado una metodología híbrida (Checkland-QFD) que no ha sido utilizada tal cual para el análisis de problemas de optimización y que en este artículo mostraremos una manera de aplicarla al problema del transporte y ver sus beneficios. El problema del transporte (VRP *Vehicle Routing Problem* por sus siglas en inglés) [5]), consiste en determinar un conjunto de rutas para una flota de vehículos que parten de uno o más depósitos o almacenes para satisfacer la demanda de varios clientes dispersos geográficamente [6, 7]. El objetivo es entregar la demanda de dichos clientes minimizando el costo total involucrado en las rutas. El problema VRP es un problema muy conocido que se clasifica como un problema NP completo [8]. El problema VRP aparece de forma natural en las áreas de transporte, distribución y logística [9]. El transporte implica un gran costo asociado a los productos que se distribuyen pero realizando una buena planeación de distribución puede resultar un valor añadido. La utilización de métodos de computación para calcular las rutas óptimas o cercanas a las óptimas puede suponer ahorros de costos importantes, del orden de 5% al 20% [8].

Implementar el problema VRP en casos reales es difícil por el gran número de restricciones que se deben considerar. La finalidad de utilizar la metodología híbrida (Checkland-QFD) al problema de transporte, es precisamente mostrar que se puede tener un entorno mejor definido y completo de las variantes de este problema que se incluyen en el diseño de un modelo. Para ejemplificar el uso de la metodología híbrida propuesta en este artículo, se abordó un tipo de problema del transporte conocido como VRP con ventanas de tiempo [5], el cual se presenta en el transporte escolar. Con la aplicación de la metodología híbrida a un problema real del transporte escolar, se visualizan las variables que más afectan al sistema y que se pueden representar de manera tangible para el diseño del modelo, cabe mencionar que la metodología no tiene reglas y que puede variar dependiendo del objetivo que se persiga en el modelo a diseñar.

A continuación en las secciones dos y tres, explican la manera de utilizar la metodología híbrida. La sección dos explica presenta la forma en que se aplica la metodología Checkland al problema de transporte. La sección tres explica la forma en que se aplicó la metodología QFD tomando como punto de partida el resultado del análisis de la metodología Checkland. La sección cuatro presenta los resultados de la aplicación de la metodología híbrida. La sección cinco comenta los trabajos futuros y finalmente se presentan las conclusiones al presente trabajo.

2 Metodología híbrida para el problema del transporte escolar, parte 1

La problemática que se desea resolver es el problema de transporte escolar en una escuela particular, las demandas que se deben de atender se agrupan en horario de secundaria, primaria y preescolar-maternal, teniendo presente el objetivo de minimizar costo de transportación y el tiempo que pasan los estudiantes en cada ruta, respetando los recursos con los que cuenta la empresa. Las rutas actuales se muestran en la Figura 2, por medio de un grafo, la figura muestra cinco rutas a atender utilizando como punto de partida y llegada a la escuela representada por el nodo central del grafo.

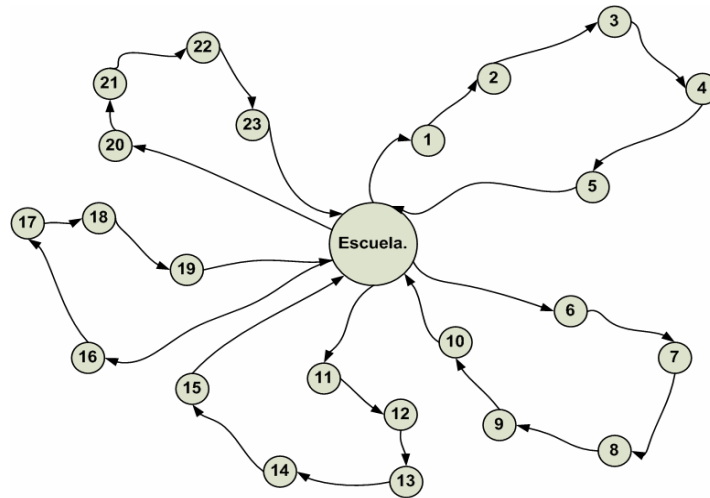


Fig. 2. Rutas actuales programadas por el transporte de la escuela

Aplicando la metodología Checkland especificada en la Figura 1 tenemos un primer nivel de análisis como sigue:

Paso 1. Situación problemática no estructurada. Recopilación de información por medio de recorridos de cada ruta, para el diseño de un modelo optimizado, utilizando variantes del problema de transporte.

Paso 2. Expresión de la situación problemática CATWDA (Desde el punto de vista de la perspectiva de diseño de un modelo de transporte).

Clientes: Institución o persona que lo solicitó.

Actores: Diseñador del modelo.

Transformación: Construcción del modelo, tomando en cuenta las variables relevantes al problema.

Vista del mundo: Utilizar los recursos existentes del cliente, estudiar las variantes del modelo de transporte y adaptarlo a las necesidades.

Dueño: Institución propietaria de la autoría.

Ambiente: Demanda de transportación, reducción de costo. Análisis del comportamiento del problema de transporte escolar mediante su entorno.

Después de aplicar CATWDA se construye el *Rich Picture* expresado en la Figura 3 donde se muestran aspectos del sistema que son relevantes a la definición del problema. Estos son las personas involucradas, sus propósitos, deseos y temores, fronteras organizacionales, acuerdos o conflictos de interés.

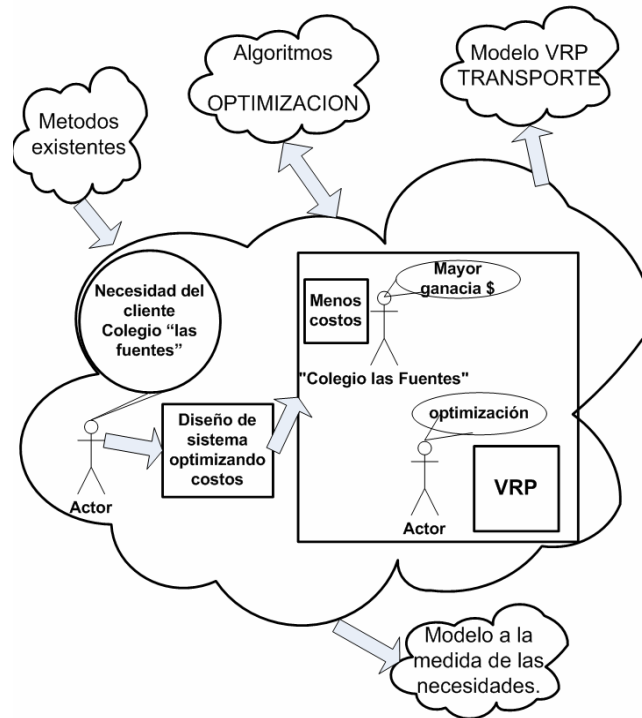


Fig. 3. Rich Picture del primer nivel de análisis

Paso 3. Definición raíz del sistema.

Construcción de un modelo de transporte y un algoritmo que cumpla con la demanda de transportación y reducción de costo utilizando información proporcionada por la empresa "Colegio Las Fuentes", para mejorar el servicio proporcionado al usuario y mejorar las ganancias de la empresa.

Paso 4. Modelo conceptual: las actividades descritas en el modelo se describen en la Tabla 1. Después de que se han construido las actividades se procede a representarlas mediante un *Rich Picture* que se muestra en la Figura 4, la cual muestra el modelo conceptual que define las actividades necesarias para lograr la perspectiva dada en el paso 3.

Tabla 1. Actividades que conforman el modelo conceptual a un primer nivel de análisis del comportamiento del problema

Actividades	Descripción
A1	Recopilación de información real del problema de transporte escolar.
A2	Análisis de la información.
A3	Detección de fallas y variables significativas al comportamiento del problema.
A4	Búsqueda de técnicas requeridas para resolver las necesidades de la empresa.
A5	De acuerdo a la problemática de la empresa realizar la búsqueda de modelos, métodos y algoritmos existentes del problema de transporte (VRP) o variantes del mismo y técnicas heurísticas que mejor se apeguen a la problemática existente.
A6	En caso de no contar con A5 diseñar un modelo a las necesidades de la empresa utilizando información real del problema de transporte escolar.

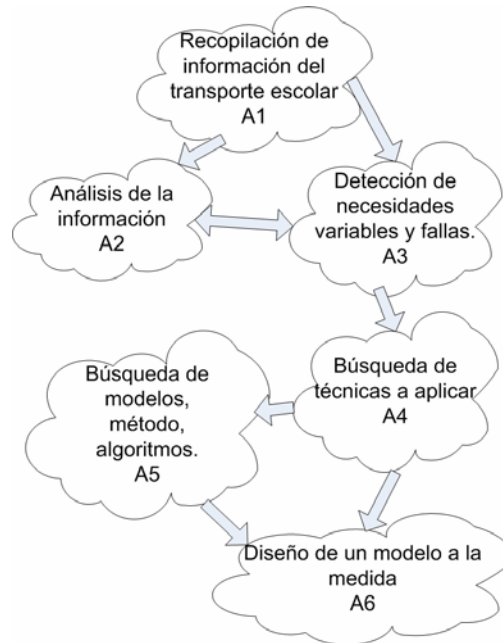


Fig. 4. Rich Picture que representa el modelo conceptual

Paso 5. Comparación del modelo conceptual con la expresión de la situación problemática. Analizando los pasos 2 y 5, se concluye que se tienen que puntualizar las actividades A4 y A5 de la Figura 4 y desglosar a mayor nivel de detalle la actividad A3, esto se concluye por que fijándonos en el flujo de las actividades representadas en la Figura 4 la actividad A3 es la que da paso a las siguientes actividades y no hay otra forma de llegar a A4, A5 y A6 sin antes realizar A3.

Paso 6. Cambios factibles y deseables. Los cambios que se visualizan son respecto a las actividades A4 y A5 descritas en la Tabla 1. En la actividad A4 se cambia por la búsqueda del modelo y en A5 se modifica la búsqueda omitiendo la del modelo que es específicamente en A4 y finalmente se puntualiza que el modelo buscado es para VRP.

Paso 7. Acciones de mejora al sistema. Las modificaciones detectadas en el paso 6 se representan mediante un diagrama Rich-Picture como se observa en la Figura 5 donde sufren modificación las actividades A4 y A5.

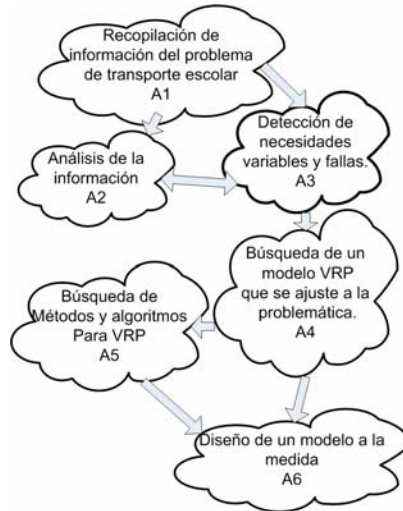


Fig. 5. Rich Picture con acciones de mejora al sistema

La metodología Checkland puede ser aplicada varias veces hasta llegar al nivel de detalle que se requiera en el análisis de un sistema. Para el problema de transporte escolar llegaremos a mayor nivel de detalle para la actividad A3 representada en la Figura 5, aplicando la metodología QFD que a continuación se detalla.

3 Metodología híbrida para el problema de transporte escolar, parte 2

La metodología de despliegue de la Función de Calidad surge por la necesidad de reducir el riesgo de cambios en los conceptos. Shigeru Mizuno [10] define QFD como “el despliegue, paso a paso, con el mayor detalle de las funciones u operaciones que conforman sistemáticamente la calidad, con procedimientos objetivos más que subjetivos”. Es decir, se trata de convertir las demandas de los consumidores en características concretas de calidad, para proceder a desarrollar una calidad de diseño mediante el despliegue sistemático de relaciones entre demandas y características, comenzando por la calidad de cada componente funcional y extendiendo el despliegue a cada parte y proceso [10]. La representación de esta metodología se ilustra en la Figura 6 la cual representa de izquierda a derecha: el “**Objetivo**” que representa lo que se desea obtener, los “**Atributos del cliente**” son las necesidades que el cliente exige de cierto producto plasmadas en forma de lista que conforman el “**QUES**”, la “**Matriz de correlación**” representa la forma de relación entre los “**COMOS**”, los “**COMOS**” son las características de cómo cumplir los “**QUES**”, las “**METAS**” son lo que se quiere cumplir, la “**Matriz de relación**” representa el grado de interacción entre los “**QUES**” y los “**COMOS**”, la “**Evaluación competitiva de características técnicas**” es la lista de productos competidores existentes de acuerdo a las necesidades del cliente y la “**Evaluación competitiva por cliente**” representa a las necesidades prio-

ritarias del cliente. La sección de evaluación competitiva de características técnicas y la sección de evaluación competitiva por cliente sólo se aplican en el primer nivel de análisis de QFD, es decir en donde inicia el análisis. Cabe mencionar que QFD se puede llevar a diferentes niveles de especificación, según se requiera, por ejemplo si se desea un segundo nivel los COMOS pasarán a ser los QUES y a partir de ahí se vuelven a construir las dependencias y así sucesivamente hasta llegar al último nivel. Esta metodología originalmente fue desarrollada para captar aspectos de conformidad del cliente con productos, la aplicación que se da a esta metodología en este artículo, es para captar los aspectos que sean intangibles pero que de cierta forma afecten el sistema que se desea modelar traduciendo éstos a variables tangibles.

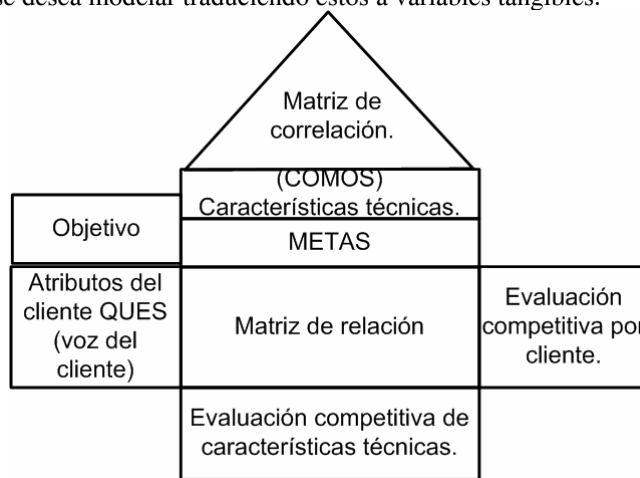


Fig. 6. Despliegue de la función de calidad [10]

La aplicación de la metodología QFD al problema del transporte se realiza sobre el resultado que generó la aplicación de la metodología Checkland específicamente sobre la actividad A3 que se muestra en la Figura 5. Centrándonos en la idea de “detección de necesidades variables y fallas”. Para el problema de transporte escolar se plantea la casa de la calidad como se muestra en la Figura 7, que nos presenta el objetivo que se tomó de la actividad A3 de la Figura 5. En base a este objetivo se plantean las exigencias que el cliente tiene a manera de lista, las cuales conforman los QUES, posteriormente se procede a crear los COMOS, como respuesta a los QUES, se plantean las metas de lo que se quiere en base a los QUES y se califican de menor a mayor rango de 1, 2, 3, 4, 5 tomando como mayor 5. La meta que resulte con mayor calificación es la que se toma como prioritaria. Después de esto se califican las dependencias entre QUES y COMOS y se llena la matriz de relación, posteriormente se califica la matriz de correlación entre COMOS, se utiliza un símbolo de círculo en negrita para representar que la relación es muy estrecha, el círculo normal para representar que están medianamente relacionados y un triángulo para representar que están casi nada relacionados.

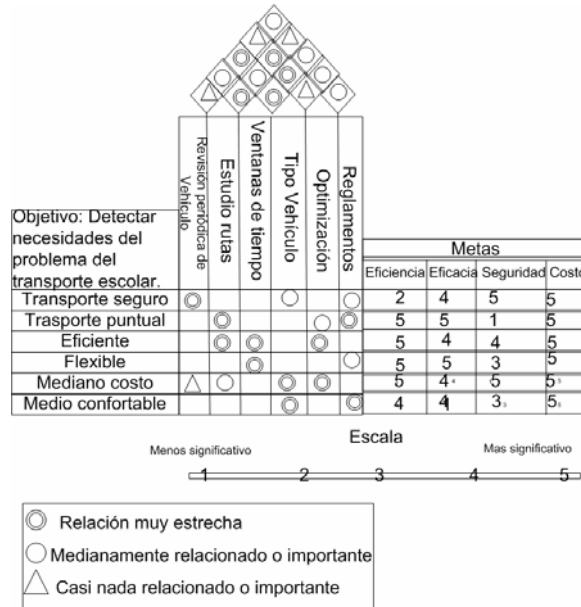


Fig. 7. La casa de la calidad para detectar las necesidades del problema del transporte escolar

La primera aplicación de QFD al problema del transporte se toma como un primer nivel y en éste se ve la necesidad de considerar la variable costo de transportación, la variable de eficiencia y eficacia, fácilmente visualizadas a través de los resultados de la evaluación de las metas. Llevando el análisis a un segundo nivel de detalle los COMOS de la Figura 7 pasan a ser los QUES o voz del cliente y se vuelve a preguntar el como realizar cada una de éstas necesidades. Esta información se representa en la Figura 8 la cual muestra el segundo nivel de detalle de la casa de la calidad para el problema del transporte escolar, en la que se visualizan los QUES, los COMOS y las matrices de relación y correlación que representan la evaluación de las relaciones entre ellos. Como resultado de este segundo nivel de detalle las variables prioritarias a tomar en cuenta se visualizan por la relación muy estrecha con las demás variables, es decir, para este segundo nivel lo que debe considerarse es un estudio de las rutas, un análisis para la construcción de ventanas de tiempo, aplicar optimización y construir reglamentos. Como se observa en la Figura 8, estas variables son las que contienen más de una relación muy estrecha, por eso es que se toman como prioritarias.

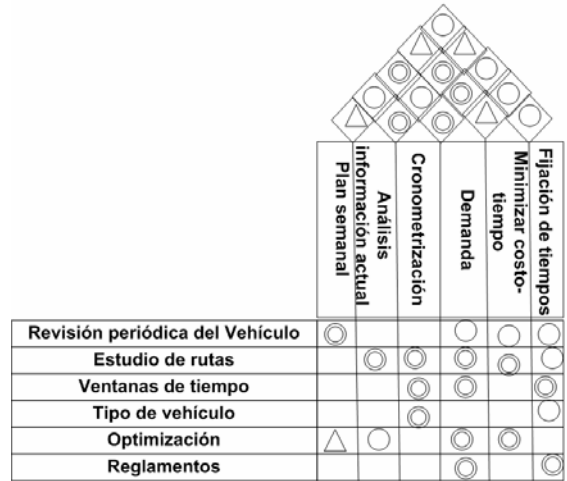


Fig. 8. Segundo nivel de detalle de la casa de la calidad para el problema del transporte escolar

Para tener mejor visión de cómo utilizar esta información, construimos un tercer nivel de detalle aplicando nuevamente QFD, los resultados de dicha aplicación se muestran en la Figura 9 donde se establecen los COMOS de la Figura 8 como los QUES para los cuales se buscará nuevamente como resolverlos y nuevamente evaluarlos, cabe mencionar que a medida que la aplicación de QFD se hace recursiva, el nivel de detalle aumenta. Los resultados de este tercer nivel de detalle son, el análisis de información actual, la cronometrización, la minimización de costo-tiempo y la fijación de tiempos.

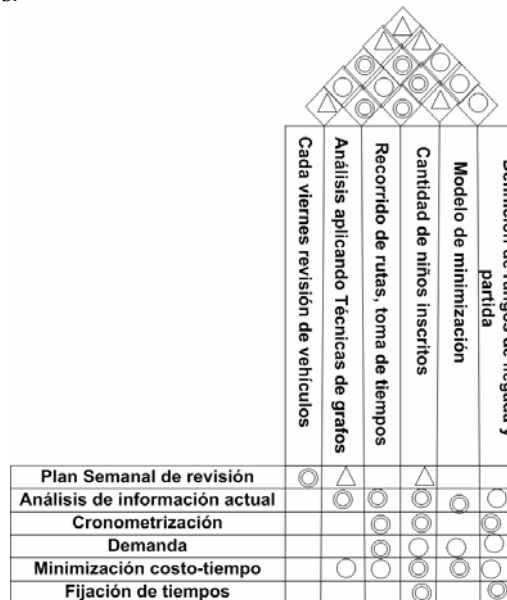


Fig. 9. Tercer nivel de detalle de la casa de la calidad para el problema del transporte escolar

Llevando el análisis a un cuarto nivel de detalle los COMOS de la Figura 9 pasan a ser los QUES de la Figura 10 en la que visualizamos las técnicas a utilizar para la solución del problema como es el análisis de rutas con técnicas de grafos, tiempos de cada ruta, modelo de minimización y los rangos de tiempo.

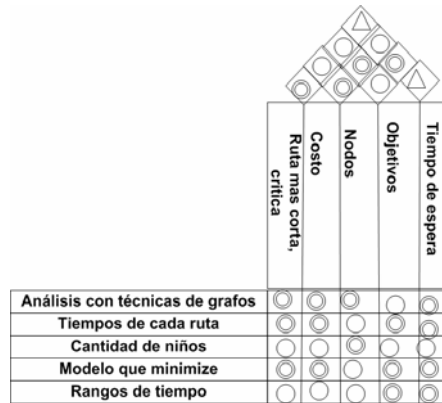


Fig. 10. Cuarto nivel de detalle de la casa de la calidad para el problema del transporte escolar

El nivel de detalle continúa hasta que los QUES ya no puedan ser resueltos mediante un COMOS. Para el problema del transporte se llegó hasta el nivel 4 por que los COMOS de la Figura 10 ya no pueden ser resueltos, por lo que se decide que el nivel 4 es el último nivel de detalle.

4 Resultados del análisis de la aplicación de la metodología híbrida (Checkland-QFD)

De acuerdo a los resultados de la aplicación de la metodología híbrida (Checkland-QFD) al problema de transporte, se detecto por medio de los resultados de la evaluación de la relación más estrecha en cada uno de los niveles, que las variables que afectan de manera significativa al problema, además del tiempo y el costo de transportación, son las ventanas de tiempo que son rangos de tiempo de espera, estas variables son las que se citaron con más frecuencia en cada uno de los niveles. En la Tabla 2 se muestran las variables detectadas por medio de esta metodología.

Analizando las variables notamos que algunas son intangibles pero a medida que aumenta de nivel por el entorno se vuelve tangible, como observamos del nivel uno al dos. En el nivel 4 notamos con mayor detalle las variables de tiempos de ruta, cantidad de niños a atender, la minimización y los rangos que son las variables relevantes al problema del transporte.

Tabla 2. Variables detectadas por la metodología híbrida (Checkland-QFD) al problema del transporte escolar

Nivel	Variable	Descripción
1	Transporte seguro	Intangible
	Transporte Puntual	Tangible
	Transporte eficiente	Intangible
	Menor costo	Tangible
	Confortable	Intangible
2	Cálculo de rutas	Tangible
	Ventanas de tiempo	Tangible
	Optimización	Tangible
3	Cronometrización	Tangible
	Demanda	Tangible
	Minimización costo-tiempo	Tangible
	Fijación de tiempos	Tangible
4	Técnicas de grafos	Intangible
	Tiempos de ruta	Tangible
	Cantidad de niños	Tangible
	Minimización	Tangible
	Rangos	Intangible

5 Trabajos futuros

Los resultados obtenidos hasta ahora se centran sólo en una parte del problema del transporte escolar, Sin embargo con la aplicación de esta metodología híbrida (Checkland-QFD), se alcanzó una visión global del entorno del sistema considerando variables intangibles, por lo que a futuro se pretende construir un modelo tomando en cuenta las variables encontradas al aplicar la metodología híbrida (checkland-QFD), las cuales describen mejor el comportamiento del transporte escolar. Posteriormente, se encontrará la solución al problema real propuesto, por medio de un algoritmo con técnicas de optimización combinatoria.

6 Agradecimientos

La metodología híbrida presentada en este artículo se aplicó a la escuela “Colegio las Fuentes”¹ acción por la cual agradecemos por facilitar la información real para llevar a cabo el análisis del comportamiento del transporte escolar.

¹ Localizado en paseo de las fuentes No. 14, Fraccionamiento Pedregal de las Fuentes, Jiutepec, Morelos, México.

7 Conclusiones

Las metodologías para sistemas blandos son útiles en el análisis de problemas NP permitiendo considerar variables intangibles que afectan el comportamiento del modelo y que en otras circunstancias no sería posible considerar, como por ejemplo retrasos en la entrega de los estudiantes al transporte por parte de los padres, tráfico vehicular y posibles accidentes que pudiesen afectar el retraso del transporte en cada ruta. Con este análisis se tiene la certeza de poder considerar todas las variables relevantes al problema que se verán reflejadas en el modelo para la obtención de una solución más apegada a la realidad, esto es, por que no se ve al proceso de manera aislada sino como un proceso que está relacionado con el entorno.

Referencias

1. Checkland, P.: Pensamiento de Sistemas, Práctica de Sistemas, Limusa, México (1992).
2. Bergvall-Kåreborn, B., Mirijamdotter, A. y Basden A.: "Basic Principles of SSM Modeling: An Examination of CATWOE from a Soft Perspective", Systemic Practice and Action Research, (2004) 17 (2), 55-73.
3. Cavazos.: Tesis "Metodología para evaluación de un nuevo ordenamiento mundial"; Maestría en Defensa Nacional; EEUU EDN; Bs As; (1997).
4. Guinta, L. R. & Praizler.: The QFD book: The team approach to solving problems and satisfying customers through quality function deployment. New York, Amacon American Management Association. N. C. (1993).
5. Paolo Toth and Danielle Vigo.: The Vehicle Routing Problem. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. Society of Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia. USA.(2001).
6. Hillier, F. S., Lieberman, G. J.: Introducción a la investigación de operaciones. Editorial McGraw-Hill.5ª ed. (1994)
7. Corona, J.A.: Hiperheurísticas a través de programación genética para la resolución de problemas de ruteo de vehículos. Ed. Monterrey, Mexico (2005).
8. Garey, M. R., Johnson, D.S.: Computers and intractability, A Guide to the theory of NP-Completeness. W.H.Freeman and Company, New York. USA.ed. (2003).
9. Dantzig, G. B. and Ramser. R.H.: The Truck Dispatching Problem. Management Science 6, (1959) 80-91.
10. Mizuno, Shigeru and Yoji Asao.: QFD The Customer-Driven Approach to Quality Planning & Deployment. Productivity Press. ISBN 92-833-1122-1 (1994)