

**ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL EN LA
EJECUCIÓN DE PROYECTOS UTILIZANDO DINÁMICA DE SISTEMAS**

JACQUELINE VALENZUELA RIAÑO

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
Chía, Cundinamarca
2013**

**ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL EN LA
EJECUCIÓN DE PROYECTOS UTILIZANDO DINÁMICA DE SISTEMAS**

Jacqueline Valenzuela Riaño

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Diseño y Gestión de Procesos
Énfasis en Sistemas Logísticos**

**Director:
M.Sc Feizar Rueda**

**Universidad de La sabana
Facultad de Ingeniería
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos
Chía, Cundinamarca
2013**

**ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL EN LA
EJECUCIÓN DE PROYECTOS UTILIZANDO DINÁMICA DE SISTEMAS**

Msc Leonardo Gonzalez

JURADO 1

Msc Cesar López

JURADO 2

Dr. Kusko Kalenatic

JURADO 3

Msc Feizar Rueda

DIRECTOR

“La Universidad no se hace responsable por las opiniones contenidas en el presente documento que exclusiva responsabilidad del autor”

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía y mi soporte, por darme la oportunidad de crecer como persona y de hacer realidad mis sueños.

A mi esposo, por su incondicional apoyo y su paciencia, pues siempre estuvo ahí para escucharme, animarme y darme la mano en este proceso.

A mis padres, por enseñarme con su ejemplo que es necesario trabajar por lo que se quiere y por siempre creer en mí.

A Feizar Rueda, por su apoyo, enseñanzas y aportes realizados en este proyecto, fue una fortuna trabajar bajo su dirección pues conté con la sabiduría y paciencia de un maestro y la confianza y consejos de un amigo.

A mis amigos que me motivaron a seguir adelante, por sus palabras de ánimo cada vez que las necesitaba y por celebrar cada una de mis victorias.

RESUMEN

En el proceso de ejecución de proyectos, los sistemas de control se utilizan para monitorear el estado de cumplimiento de los objetivos, con el fin de determinar las discrepancias entre la planeación y la ejecución del mismo y generar acciones correctivas encaminadas a disminuir estas diferencias, sin embargo, no se encontró en la literatura consultada, un método estructurado que ayude a ubicar dichos controles a lo largo de las actividades del proyecto.

Dado lo anterior, este estudio propone un método que contribuye a mejorar el proceso de la localización de puntos de control en proyectos, utilizando dinámica de sistemas como una herramienta modelación.

Este estudio se dividió en dos, la obtención de resultados inferenciales y la obtención de unos resultados descriptivos. Para la obtención de los resultados inferenciales se utilizó un diseño de experimentos factorial, para evaluar el efecto de 4 periodos de control con valores de 0.5, 1, 3 y 6 unidades de tiempo (UT), 4 demoras en ejecución de la política de control con valores de 0.5, 1, 2 y 3 UT y 4 estructuras en la red para proyectos de 20 actividades, sacadas de la librería PSPLIB, sobre la discrepancia entre el tiempo de finalización planeado y el tiempo de finalización real de proyectos.

En el estudio descriptivo, se probaron 7 políticas de priorización de actividades las cuales contemplaban aspectos como duración, recursos, variabilidad, sucesores y combinaciones de estas características, las cuales fueron comparadas con el método de la ruta crítica, ampliamente utilizado, en los problemas de secuenciación de proyectos.

Entre los principales hallazgos, se encontró que aunque las redes fueron seleccionadas con las el mismo número de actividades, recursos y nivel de complejidad, todas las redes presentan un carácter diferente y único dado por su estructura.

Asimismo, la interacción entre el periodo de control y la demora en ejecución de la política de control tiene un efecto significativo sobre la media de la discrepancia evaluada, disminuyendo su media con los valores menores de estos dos factores. Adicionalmente, se observó que el valor de la demora tiene una mayor influencia sobre la discrepancia que el periodo de control.

Finalmente, se encontraron 3 políticas de priorización que se pueden utilizar para ubicar los puntos de control a lo largo de las actividades, dependiendo de las herramientas con las que se cuenten y que el método de la ruta crítica, no es el más adecuado para realizar dicha priorización.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
3.	OBJETIVOS	14
3.1	OBJETIVO GENERAL	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4.	JUSTIFICACIÓN.....	15
5.	MARCO DE REFERENCIA	17
5.1	MARCO CONCEPTUAL.....	17
5.1.1	PROYECTOS.....	17
5.1.2	DINÁMICA DE SISTEMAS.....	19
5.1.3	DEMORAS	20
5.1.4	MÉTODO DE LA RUTA CRITICA CPM.....	22
5.1.5	METODOLOGÍA INTEGRAL Y DINÁMICA.....	22
5.2	ANTECEDENTES.....	24
6	VARIABLES	26
6.1	VARIABLES DE DECISIÓN.....	26
6.2	VARIABLE RESPUESTA.....	26
7	SUPUESTOS.....	26
8	DELIMITACIÓN	27
9	METODOLOGÍA.....	27
9.1	ESTRUCTURACIÓN DEL ESTUDIO.....	29
9.1.1	REDES.....	30
9.1.2	PERIODO DE CONTROL	31
9.1.3	DEMORAS	32
9.1.4	POLÍTICAS DE PRIORIZACIÓN.....	33
9.1.5	COSTOS	39
9.2	ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO EN DINÁMICA DE SISTEMAS	39
9.2.1	ACTIVIDADES	41
9.2.2	POLÍTICA DE CONTROL	45
9.2.3	COSTOS	46
9.3	METODOLOGÍA DE RESULTADOS INFERENCIALES	48
9.4	METODOLOGÍA DE RESULTADOS DESCRIPTIVOS.....	51
10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
10.1	RESULTADOS INFERENCIALES.....	52
10.1.1	ANÁLISIS DE VARIANZA.....	53
10.1.2	DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS	55
10.1.3	SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS.....	60
10.2	RESULTADOS DESCRIPTIVOS	62
10.3.1	POLÍTICAS DE PRIORIZACIÓN.....	62

10.3.2 COSTOS	63
11. MÉTODO DE CONTROL PROPUESTO EN ESTA INVESTIGACIÓN	66
12. CONCLUSIONES.....	70
13. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	71
14. BIBLIOGRAFÍA	72
15. ANEXOS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida del proyecto	18
Figura 2. Ejemplo redes según la clasificación de Madadi.	18
Figura 3. Diagramas causales de bucles con retroalimentación positiva y negativa.	20
Figura 4. Simbología de los Diagramas Forrester.	20
Figura 5. Diagramas Forrester de una demora de primer orden en la transmisión de material.....	21
Figura 6. Forma simbólica de representar una demora de primer orden en la transmisión de material.....	21
Figura 7. Representación del retraso de información.	22
Figura 8. Metodología Integral y Dinámica. Fase técnica.	23
Figura 9. Metodología Integral y Dinámica. Fase organizacional.....	23
Figura 10. Metodología propuesta.....	28
Figura 11. Fuentes de variabilidad utilizadas en el estudio.	29
Figura 12. Estructura de las redes utilizadas en el estudio	31
Figura 13. Variación de las discrepancias a diferentes periodos de control en red 1.	32
Figura 14. Variación de las discrepancias a diferentes demoras en red 1.	32
Figura 15. Metodología Integral y Dinámica aplicada a la programación de proyectos.....	40
Figura 16. Representación de la actividad en el diagrama de Forrester.....	41
Figura 17. Representación de una red planeada, estructuración de la red 1.	42
Figura 18. Relaciones de precedencia de la red 1.	42
19. Representación de una actividad real.	43
Figura 20. Generación de variabilidad de los recursos en el modelo.	44
Figura 21. Estructura de la variabilidad de una actividad.	45
Figura 22. Estructura de la política para cada actividad.	46
Figura 23. Estructura de costo de control en el modelo.	47
Figura 24. Estructura de costo de retraso en el modelo.	48
Figura 25. Curvas de operación características.	51
Figura 26. Comportamiento del costo del control y costo del retraso con una relación (1:1) para la red 1.....	64
Figura 27. Comportamiento del costo del control y costo del retraso con una relación (1:3) para la red 1.....	64
Figura 28. Comportamiento del costo del control y costo del retraso con una relación (3:1) para la red 1.....	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Redes seleccionada.....	30
Tabla 2. Método API, primer nivel de iteración.....	35
Tabla 3. Orden de las actividades del primer nivel de iteración.....	35
Tabla 4. Segundo nivel de iteración.....	36
Tabla 5. Orden de las actividades del segundo nivel de iteración.....	36
Tabla 6. Orden con actividades predecesoras.....	37
Tabla 7. Valores de tiempo final en el orden de priorización API.....	37
Tabla 8. Orden de priorización de control de actividades para cada política propuesta	38
Tabla 9. Desviaciones utilizadas en los recursos.....	44
Tabla 10. Parámetros constantes del modelo dinámico para el experimento.....	49
Tabla 11. Valores de potencias calculados para cada n.....	51
Tabla 12. Análisis de varianza.....	54
Tabla 13. Efectos principales.....	56
Tabla 14. Interacción Red – Periodo de control.....	57
Tabla 15. Interacción Red – Demora.....	57
Tabla 16. Interacción Demora – Periodo de control.....	58
Tabla 17. Intervalos de confianza la combinación red y periodo de control.....	59
Tabla 18. Intervalos de confianza la combinación red y demora.....	59
Tabla 19. Intervalos de confianza la combinación demora y periodo de control.....	60
Tabla 20. Subconjuntos homogéneos para las redes.....	61
Tabla 21. Subconjuntos homogéneos para los periodos de control.....	61
Tabla 22. Subconjuntos homogéneos para los demora.....	62
Tabla 23. Valores de ponderación para las reglas de priorización.....	63
Tabla 24. Porcentaje de ejecución de los proyectos en los que se igualan los costos de control y de retraso.....	65
Tabla 25. Valores de costo y discrepancia de halladas para la red 4, con las diferentes políticas de priorización.....	68

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la administración de proyectos es herramienta que contribuye a cumplir los objetivos demandados por las organizaciones en una gran cantidad de sectores, por lo que su adecuada ejecución es de gran relevancia a nivel mundial.

A lo largo de su ciclo de vida, los proyectos por lo general implementan sistemas de control para monitorear las diferencias existentes entre la planificación y la ejecución real de las actividades y recursos (Rozenes, Vitner y Spraggett, 2004). La implementación de estos controles permite tomar las acciones correctivas tendientes a minimizar los impactos negativos que estas discrepancias puedan generar.

Sin embargo, como se evidenció en el estudio realizado por Rueda, González y Moreno (2012), un inadecuado criterio para la colocación de los puntos de control puede generar deficiencias de información que conlleven a retrasos en el cumplimiento de las actividades planeadas o por el contrario, un sobre costo en el proyecto generado por la colocación innecesaria de los mismos.

Es por esto que en este estudio se busca proponer un método que contribuya a mejorar el proceso de la localización de puntos de control en proyectos, siendo la dinámica de sistemas, una herramienta adecuada para modelar los comportamientos estructurales de los proyectos y evaluar la efectividad del método propuesto (González, Kalenatic y Moreno, 2012).

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En un mundo cada vez más globalizado, las organizaciones se enfrentan cada vez más al reto de optimizar sus recursos y sus procesos para ser más competitivos en el mercado. Respondiendo esta necesidad, las organizaciones estructuran proyectos, los cuales son una de las herramientas más utilizadas para alcanzar los logros requeridos, por lo cual, su adecuada gestión es un tema en constante estudio y evolución.

Un proyecto es una tarea con objetivos definidos, con puntos de inicio y de finalización establecidos los cuales necesitan ser completados dentro de un periodo de tiempo específico, con restricción de recursos y de presupuesto (Raz y Erdal, 2000). En la fase de planeación de proyectos, son definidas las características como recursos y tiempos de ejecución, los cuales son estimados por actividad. Es por esto, que esta fase es hasta el momento la más estudiada y la que más herramientas tiene para su estructuración (PMI, 2004).

Sin embargo, se ha demostrado que aunque una adecuada planeación es de gran importancia, por si sola no es suficiente para garantizar el éxito de proyecto, por lo cual debe ser complementada con mecanismos de control, que ayuden a monitorear si se esta cumpliendo con los objetivos propuestos dentro de los recursos y tiempos establecidos, y en caso de existir discrepancias, efectuar acciones que contrarresten estas deficiencias e impulsen el proyecto para regresar a su normalidad.

El control de las actividades se puede desarrollar de forma continua o periódica, y la decisión de hacerlo de una u otra forma afecta directamente las variables de tiempo (duración del proyecto) y costos. En efecto, Rueda et al. (2012) encontraron una relación directa entre el periodo de revisión y la duración del proyecto, en donde a medida que los periodos de control se hacen más pequeños, las desviaciones de la duración del proyecto con respecto a los estimados iniciales, se hacen también más pequeñas. Sin embargo, debido a los costos asociados al control, realizar inspecciones de forma continua incrementa el costo total del proyecto, siendo necesario, entre otras cosas, hacer un análisis de la relación de costo del retraso y costo del control, para tomar las decisiones convenientes.

Este estudio busca diseñar un método para la localización de puntos de control que ayude a disminuir las discrepancias existentes entre la ejecución real y la planeada de proyectos con la utilización de dinámica de sistemas. Para construir este método, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles son las características que deberán componer un método de localización de puntos de control en proyectos?, ¿Qué modelos de aplicación contribuyen a enriquecer el método a establecer?, ¿Qué criterios se deben tener en cuenta para la localización de puntos de control en proyectos?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la relación que existe entre la localización de los puntos de control y las discrepancias entre la ejecución real y planeada en proyectos con base en el análisis de localización en términos de tiempo, estructura y recursos vinculados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la estructura sistémica de la ejecución del proyecto identificando elementos, interacciones y límites del sistema.
- Caracterizar la estructura de las demoras asociadas a las demoras de información-acción en los puntos de control.
- Determinar la relación que existe entre la estructura y número de puntos de control sobre las discrepancias entre la ejecución real y planeada de proyectos en términos tiempo y costo.

4. JUSTIFICACIÓN

A medida que pasa el tiempo, se genera la necesidad de actualizar los métodos, herramientas y técnicas que se utilizan en la gestión de proyectos, sobre todo aquellas que contribuyan a alcanzar los objetivos propuestos, con la menor variación con respecto a la planificación.

Sin embargo, a pesar de la continua evolución en el campo de la gestión proyectos, parece evidente que los enfoques tradicionales siguen mostrando una falta de metodologías adecuadas para el control del proyectos (De Falco y Macchiaroli, 1998). Por otro lado, se responsabiliza en gran medida a la planeación, el éxito de los proyectos. En efecto, la Guía del PMBOK define que de los 39 procesos necesarios para la gestión adecuada de proyectos, se deben usar 21 procesos relacionados con la planeación (Globerson y Zwikael, 2002), razón por la cual, la fase de planeación se considera un elemento central de la gestión moderna de proyectos (Dvir, Raz y Shenhar, 2003).

De igual manera, en la literatura se observa que de los estudios referentes a la gestión de proyectos, la fase más estudiada hasta el momento es la planeación, lo cual se evidencia desde los enfoques clásicos del análisis de tiempo como el método de la ruta crítica (CPM) y las técnicas de revisión y evaluación de proyectos (PERT), hasta los métodos más complejos de análisis de costo y recursos dados por el problema de secuenciación de proyectos con recursos restringidos (Klein, 1999).

Sin embargo, se ha evidenciado que una concentración en esta fase de por si sola, no garantiza el éxito en la ejecución del proyecto. Así mismo, Williams (2003), identificó que las técnicas tradicionales de planeación presentan dificultades para detectar desviaciones y retrasos en los proyecto.

Por su parte, autores como Avison, Baskerville y Myers, (2001), afirman que se puede lograr la ejecución del proyecto de acuerdo con el plan definido a través de una adecuada metodología de control. Adicionalmente, Dey (2000), recomienda el control de los proyectos a través de la gestión de riesgos, control de calidad y un sistema integrado de información.

En el proceso de ejecución de proyectos, los sistemas de control se utilizan para monitorear el estado de cumplimiento de los objetivos, con el fin de determinar las discrepancias existentes entre la planeación y la ejecución de los mismos y generar acciones correctivas encaminadas a disminuir estas diferencias (Rozenes et al., 2004).

El monitoreo de las actividades se puede desarrollar de forma continua o periódica y los indicadores a evaluar por lo general están asociados a las variables de tiempo y costo, sin embargo, como se puede inferir del estudio realizado por Rueda et al. (2012), un

inadecuado criterio para la colocación de los puntos de control puede generar deficiencias de información que conlleven a retrasos en el cumplimiento de las actividades planeadas o por el contrario, un sobre costo en el proyecto generado por la colocación innecesaria de controles.

Es por esto, que el control de proyectos es un tema de gran importancia durante el ciclo de vida del proyecto, y su aplicación en una gran cantidad de sectores, lo hacen de gran interés para desarrollar herramientas que ayuden a gestionar adecuadamente dicho proceso.

De igual manera, abordar este tema desde la una perspectiva de control dinámico está establecido por la naturaleza del proyecto, así como por el objetivo inherente al control en donde, a través de la intervención sobre los ciclos de retroalimentación, se puede buscar mitigar el impacto sobre los indicadores planeados (Rueda et al., 2012).

Adicionalmente, la utilización de la dinámica de sistemas permite simular procesos complejos a un bajo costo, en un corto tiempo y sin impacto en el sistema real, lo cual permitirá evaluar diferentes políticas de control, propuestas tanto por la literatura, como por el criterio del autor.

Es por esto, que este trabajo propone estructurar un método que contribuya a la adecuada localización de puntos de control en proyectos, apoyados en herramientas de Dinámica de Sistemas y en la metodología integral, con las cuales se evaluarán diferentes alternativas para buscar los puntos óptimos en este proceso.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 PROYECTOS

El Project Management Institute (PMI), en la guía Project Management Body of Knowledge PMBOK (2004), define proyecto como un esfuerzo temporal emprendido para crear un producto o servicio único, significando temporal el hecho de que se desarrolla en un tiempo finito y que tiene definido su inicio y finalización, y su carácter único a que el resultado del mismo no se repetirá debido a la variabilidad de su estructura y desarrollo.

Los proyectos están constituidos principalmente por los cuatro elementos: actividades, relaciones de precedencia, recursos y medidas de desempeño (Slowinski, Soniewicki, Weglarz, 1994). Las actividades son labores que consumen tiempo mientras las personas, equipos o ambos trabajan o esperan en la ejecución del proyecto (Gray y Larson, 2000), las relaciones de precedencia se refieren a la dependencia entre los momentos de inicio y finalización de dos actividades (Kolisch y Padman, 2001), un recurso es una fuente o suministro del cual se produce un beneficio y en la ejecución de proyectos pueden ser clasificados en: recursos renovables, recursos no renovables, recursos doblemente restringidos y recursos parcialmente renovables (Kolisch et al., 2001) y las medidas de desempeño son variables cuantitativa que permiten verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos en un proyecto.

En los problemas de secuenciación de proyectos es importante el establecimiento de las relaciones de precedencia que se describen a continuación: SS (Start-to-Start), inicio a inicio, cuando las actividades deben empezar al mismo tiempo; FF (Finish-to-Finish), fin a fin, si deben ser terminadas de forma simultánea; SF (Start-to-Finish) inicio a fin, cuando una actividad no puede ser concluida hasta tanto no se emprenda la otra; FS (Finish-to-Start), fin a inicio, indica que una actividad no puede iniciar sin que haya finalizado la otra, siendo este tipo de relaciones la más utilizada en los problemas de secuenciación (Elmaghraby y Kamбуrowski, 1992).

Por otro lado, el ciclo de vida de los proyecto esta compuesto principalmente por las fases de iniciación, planeación, ejecución y cierre (Westland, 2006). Los principales componentes de ciclo de vida se muestran en la Figura 1.

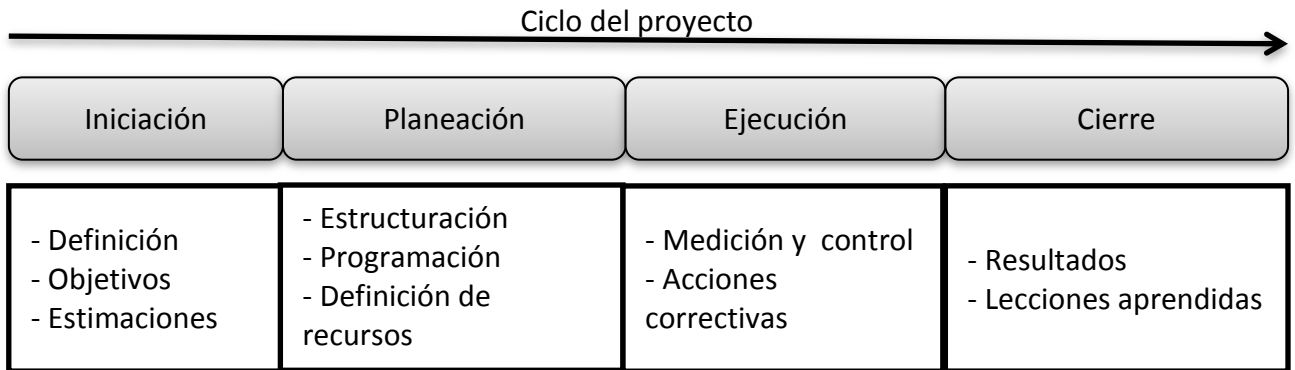


Figura 1. Ciclo de vida del proyecto

Una de las formas de clasificar proyectos es por tamaño o cantidad de actividades que lo conforman. Dentro de esta clasificación encontramos la realizada por Madadi y Iranmanesh (2012) en la cual estudia 3 categorías de redes de proyectos: proyectos pequeños que constan de hasta 5 actividades, proyectos medianos que tienen entre 6 y 19 actividades y proyectos grandes tienen desde 20 actividades en adelante. A continuación en la figura 2 se muestran una representación por cada categoría.

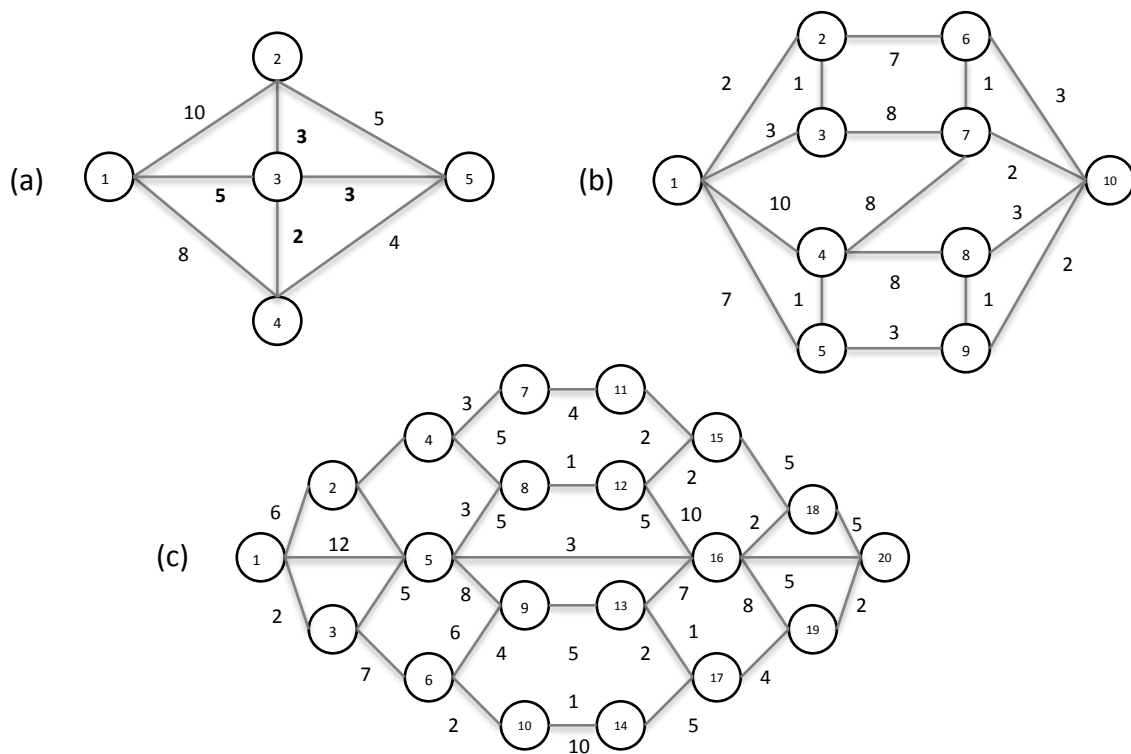


Figura 2. Ejemplo redes según la clasificación de Madadi. (a). Red pequeña: 5 actividades (b). Red mediana: 10 actividades. (c). Red grande: 20 actividades.

Por su parte, uno de los procesos más importantes en la ejecución del proyectos es el de control, pues se encarga de monitorear las diferencias existentes entre la planificación y la ejecución real de las actividades y recursos, para con esto, tomar las acciones correctivas necesarias para minimizar los impactos negativos que estas discrepancias puedan generar (Rozenes et al, 2004).

Los sistemas de control pueden ser unidimensionales o multidimensionales, según el número de objetivos que se controlen. Los primeros, como su nombre lo indica, tienen como medida de control un solo objetivo, entre los que se puede encontrar el tiempo, costo, calidad, entre otros (Abbasi y Arabiat, 2001). Por otro lado, los multidimensionales tienen como medida de control una combinación de varias objetivos, comúnmente tiempo y costo, los cuales se monitorean por medio de indicadores como los costos presupuestado y real del trabajo programado, siendo el más utilizado el de gestión del valor ganado (Earned Value Management) (Vanhoucke, 2012).

Los elementos de un ciclo de control son planeación, medición, monitoreo y acciones correctivas (Rozenes, Vitner y Spraggett, 2006).

5.1.2 DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas es una metodología utilizada para la modelación de sistemas complejos, con la cual se busca comprender cómo las estructuras de los sistemas son responsables de su comportamiento y con esto generar acciones que puedan mejorar el funcionamiento del sistema o resolver los problemas observados.

En la actualidad, la Dinámica de Sistemas ha sido empleada para entender sistemas como los de las ciencias sociales, la economía o la ecología, teniendo como ventaja principal que las acciones dentro de estos sistemas pueden ser simuladas a bajo costo y sin impacto en el sistema real.

Un modelo de Dinámica de Sistemas está compuesto por un conjunto de elementos que constituyen el sistema y un conjunto de relaciones que especifican las interacciones entre estos elementos. Los elementos que intervienen en el modelo pueden clasificarse como exógenos y endógenos, siendo los primeros susceptibles modificarse desde el exterior, mientras que los segundos están determinados por la estructura del sistema.

Para representar las relaciones entre los elementos del sistema se utilizan los diagramas causales, contruidos con flechas que relacionan los elementos y con signos que representan relaciones positivas o negativas, estos diagramas y pueden además presentar bucles realimentados, que pueden ser de realimentación positiva o negativa. Los diagramas causales correspondientes a estos bucles se muestran en la Figura 3.



Bucle de realimentación positiva

Bucle de realimentación negativa

Figura 3. Diagramas causales de bucles con retroalimentación positiva y negativa.

A su vez, los diagramas causales son representados en la simulación por Diagramas de Forrester, en los cuales los elementos se representan con variables de nivel cuya evolución es significativa para el estudio del sistema; variables de flujo que determinan las variaciones en los niveles del sistema; variables auxiliares que representan pasos o etapas en que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles; canales de material, de información, retrasos y variables exógenas (Forrester, 1981). En la Figura 4 se muestra la simbología de los diagramas de Forrester.

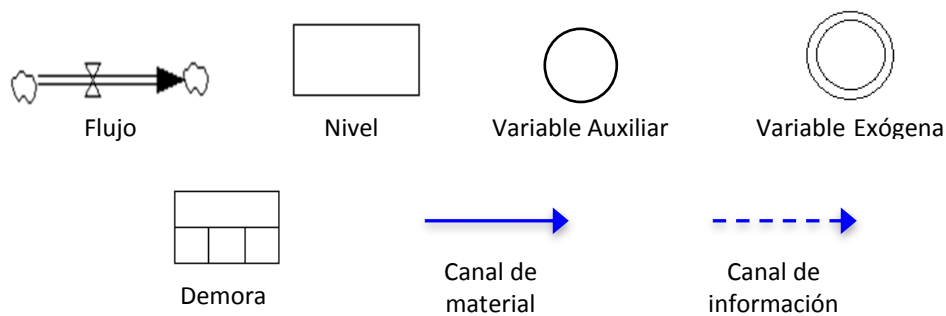


Figura 4. Simbología de los Diagramas Forrester.

5.1.3 DEMORAS

Uno de los aspectos importantes que se debe considerar en el estudio de sistemas dinámicos, es el retraso que se produce en la transmisión de información o de materiales. Esto se debe a que la relación causal que liga a dos variables puede implicar la transmisión de información o material, para la cual se requiere el transcurso de cierto tiempo, lo que implica un retraso.

En efecto, los retrasos de materiales se producen cuando existen elementos en el sistema que almacenan el material que fluye por el mismo. Así mismo, los retrasos de información resultan de la necesidad de conservar y almacenar información del sistema antes de

tomar una decisión. En esencia, la demora es un proceso de conversión que acepta una tasa de entrada de flujo dada y entrega una tasa de flujo resultante en la salida (Forrester, 1981).

Las demoras se representan en el diagrama de Forrester como se muestra en la figura 5:

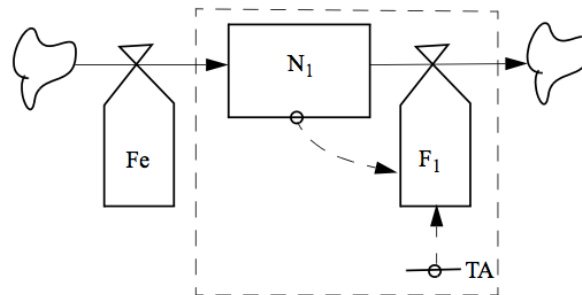


Figura 5. Diagramas Forrester de una demora de primer orden en la transmisión de material.

El orden del retraso en la demora de materiales viene dado por el número de niveles necesarios para su simulación. El retraso se produce mediante la acción combinada del nivel y el flujo situados al interior del recuadro de la figura 6.

Convencionalmente se representa el nivel y el flujo de este recuadro por medio de un símbolo como se muestra en la figura 6.

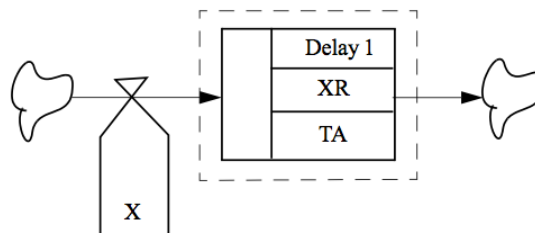


Figura 6. Forma simbólica de representar una demora de primer orden en la transmisión de material.

Por otro lado, los retrasos de transmisión de información actúan como filtros capaces de alisar los picos que presenta la evolución de una variable teniendo un valor promedio de la misma. En este proceso de promediar se ponderan los datos disponibles de manera que los más recientes influyen en el promedio de forma más significativa que los más antiguos.

El empleo de filtros alisadores se justifica por el hecho de que la información empleada para la toma de decisiones contiene errores, comportamientos individuales, periodos no uniformes, intermitencias, etc. El filtrado reduce el ruido de alta frecuencia e introduce un retraso tal que, en la medida que disminuya el ruido, aumentará el retraso (Aracil, 1992).

Por tanto, si el filtrado equivale a un retraso su representación en términos de niveles y flujos vendrá dada por la figura 7.

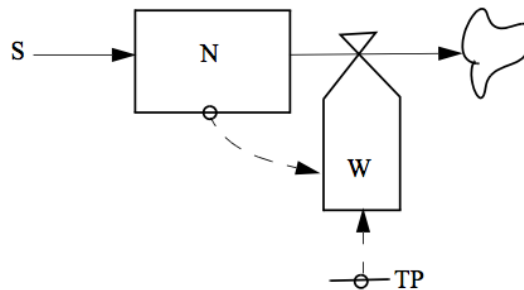


Figura 7. Representación del retraso de información.

5.1.4 MÉTODO DE LA RUTA CRITICA CPM

El Método Ruta Crítica o CPM (Critical Path Method) es utilizado frecuentemente en el desarrollo y control de proyectos y tiene como objetivo determinar la duración de un proyecto. El principal supuesto de CPM es que las actividades y sus tiempos de duración son conocidos (reales o determinísticos). Si se entiende como ruta a una trayectoria desde el inicio hasta el final de un proyecto, la longitud de la ruta crítica es igual a la trayectoria más larga del proyecto y por lo tanto, a la duración del proyecto.

5.1.5 METODOLOGÍA INTEGRAL Y DINÁMICA

La Metodología Integral Dinámica propuesta por Kalenatic (2001), relaciona las técnicas analíticas y numéricas, de las cuales proponen su complementariedad. Las técnicas analíticas son representadas por la programación matemática, las técnicas de optimización y las heurísticas. A su vez, las técnicas numéricas son representadas por la dinámica de sistemas, la simulación discreta y las meta heurísticas.

Esta metodología consta de dos fases, una técnica y una organizacional. La fase técnica define la relación entre el sistema, los problemas asociados al mismo y técnicas analíticas y numéricas que pueden ser utilizadas, asimismo, definen las posibles combinaciones de técnicas que permitan resolver los problemas identificados. Comprende seis etapas básicas que se muestran en la figura 8.

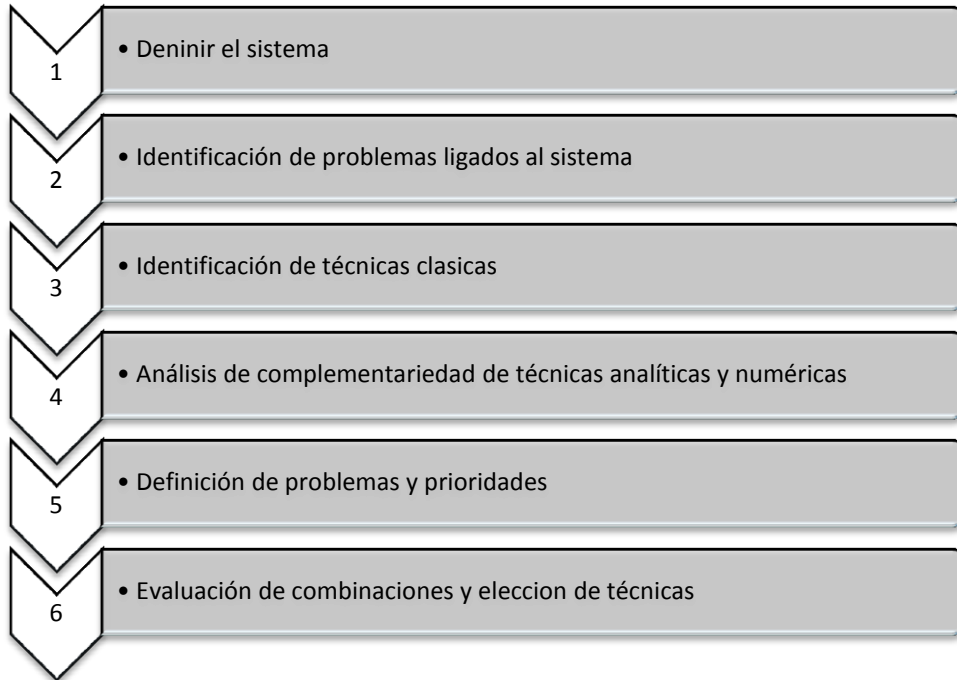


Figura 8. Metodología Integral y Dinámica. Fase técnica.

La fase organizacional por su parte, busca una aplicación adecuada de la fase técnica en un contexto organizacional. Consta de las etapas presentadas en la figura 9.

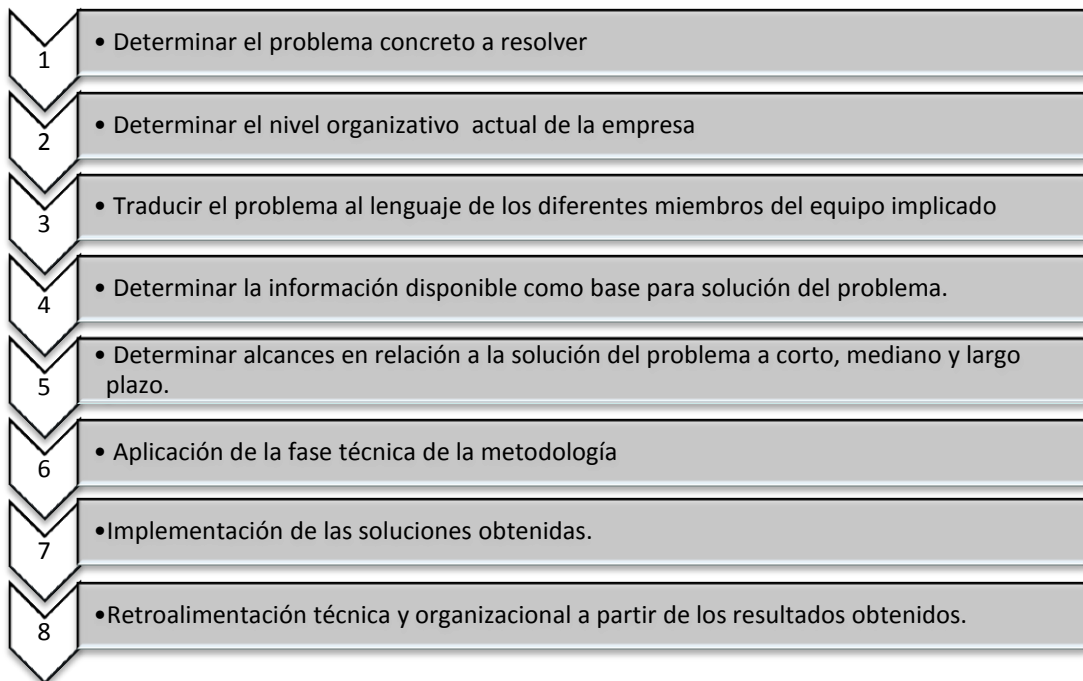


Figura 9. Metodología Integral y Dinámica. Fase organizacional.

5.2 ANTECEDENTES

En la actualidad, las dos asociaciones profesionales especializadas en los temas referentes a gestión de proyectos son la Association of Project Management (APM) y el Project Management Institute (PMI). Estas asociaciones, se han encargado de recopilar los “cuerpos de conocimiento” (body of knowledge), los cuales son guías que resumen el conocimiento más importante en el área de gestión de proyectos (Rozenes et al, 2004), siendo su consulta obligada para aquellas personas que quieren aprender a gestionar adecuadamente un proyecto.

Una de las diferencias más marcadas entre los dos libros, es la importancia que se le da al proceso de control de proyectos. Mientras que en La Guía del PMBOK de PMI, no se refiere al control proyectos de como un área específica del conocimiento, y se le incluye en otras áreas de estudio, la guía APMBOK de APM incluye muchas herramientas tradicionales para control y destaca su importancia durante el ciclo de vida del proyecto (Rozenes et al, 2004).

En la literatura, el tema de control de proyecto ha sido abarcado por varios autores, dentro los cuales encontramos a Raz y Erel (2000), los cuales realizaron un estudio para determinar el momento óptimo de control de un proyecto durante su ciclo de vida. Para esto se generó un modelo que busca maximizar la cantidad de información generada por los puntos de control, teniendo en cuenta la intensidad de las actividades realizadas y en el tiempo transcurrido desde el último punto de control.

Por otro lado, Choi y Bae (2009) proponen un método de simulación para evaluar el desempeño un proyecto dinámico en términos de esfuerzo, tiempo y cambios en densidad de defectos en un entorno dinámico de proyectos, mediante la combinación de COCOMO II y dinámica de sistemas. En el estudio se aplica la técnica de juicio de expertos para superar la falta de datos empíricos sobre los efectos del entorno dinámico.

En cuanto a una perspectiva de dinámica de sistemas los autores González et al. (2012) presentan la aplicación de una metodología integral y dinámica en la programación y control dinámico de proyectos, a partir de la cual, desarrollan un modelo que combina redes de actividad AON, bajo los supuestos CPM, ejecución multimodo y dinámica de sistemas.

Dada la metodología anterior, Rueda et al. (2012) utilizaron redes de actividad modeladas en dinámica de sistemas para describir la relación entre el costo de las demoras y el costo de las acciones de control en proyectos ejecutados bajo condiciones de incertidumbre. En este estudio se realizaron controles periódicos para la evaluación de la discrepancia entre la planeación y la ejecución del proyecto y se ejecutaron acciones de control en las actividades críticas.

Así mismo, los autores Moreno y González (2012) utilizaron dinámica de sistemas para estudiar el control de proyectos, donde se hace una priorización de actividades críticas y se efectúa un cambio de modo de las actividades en ejecución que presentan una discrepancia entre la planeación y las tolerancias establecidas.

Complementando estos estudio, los autores Rueda, et al. (2012) desarrollan un modelo de control de proyectos que se enfoca en el control de recursos renovables y describe su impacto sobre los indicadores de ejecución del proyecto. En este trabajo se evidencia que la aplicación de controles sobre recursos renovables disminuye la desviación entre la finalización real del proyecto y el tiempo de terminación planeado y aumenta los costos del proyecto, por lo que su aplicación es recomendable para proyectos donde el criterio principal de ejecución no esté estrictamente relacionado con el factor económico.

Otros mecanismos de simulación, han sido han sido estudiados por Vanhoucke (2012), el cual mide y evalúa la eficiencia de control de un proyecto mediante un estudio de simulación de Monte-Carlo con datos ficticios y empíricos de proyectos. En el estudio, se construye una línea base que actúa como un punto de referencia para el análisis de riesgos y el control del tiempo en las fases del proyecto. En el proceso de control del proyecto, se obtiene información de los análisis de programación de riesgo (SRA) y gestión del valor ganado (EVM), la cual sirve como parámetro de alerta temprana, que activa las acciones correctivas en caso de que el proyecto se encuentre en problemas. El enfoque de este trabajo radica en el rendimiento de tiempo en los proyectos y no en el control de los costos.

Madadi et al. (2012), plantea un índice y un método para determinar el grado de importancia de las actividades en la red de proyectos y la cantidad de esfuerzo requerido en el control para completar un proyecto con éxito, es decir, con la menor discrepancia de en términos de tiempo. Para tener un marco de referencia, el índice y el método propuestos por los autores son comparados con los encontrados en la literatura, teniendo resultados favorables para el método diseñado por los autores. En efecto, el índice y el método propuestos superan ampliamente a los utilizados para esta comparación.

Evaluando lo anterior, este estudio propone, utilizar las herramientas desarrolladas por otros autores, ampliando el espectro a la evaluación de nuevas políticas para la localización de puntos, para construir un método que contribuya a mejorar el proceso de control de proyectos.

6 VARIABLES

6.1 VARIABLES DE DECISIÓN

- Red: unidad experimental en la cual se estructura el proyecto.
- Periodo de control: tiempo en el cual se realiza una revisión del avance del proyecto con respecto a su plan inicial.
- Demoras: tiempo que se emplea una vez se ha identificada la discrepancia, para empezar a ejecutar la política de control.
- Política de priorización: parametro de establecimiento del orden en el que se controlan las actividades en una red
- Relación de costos: relación entre el costo de control y el costo de retraso del proyecto.

Cada una de estas variables se explica en detalle en la metodología.

6.2 VARIABLE RESPUESTA

Discrepancia total: es el porcentaje de diferencia entre el tiempo de finalización planeado y el tiempo de finalización real de un proyecto. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$DISCT = \frac{fin\ real - fin\ planeado}{fin\ planeado} * 100$$

Donde:

Fin planeado: es el tiempo planeado de finalización del proyecto.

Fin real: es el tiempo en el que se termina de ejecutar el proyecto con variabilidad.

7 SUPUESTOS

El modelo utilizado para la simulación del proyecto representa en una buena medida a la realidad del desempeño de los proyecto, por lo cual, es posible considerar que los hallazgos encontrados en este estudio, sirven para su aplicación en el campo real de gestión de proyectos.

8 DELIMITACIÓN

En este trabajo por tratarse de un desarrollo netamente conceptual, solo se evaluaron datos procedentes de un proceso de simulación, por lo tanto, este estudio no contempló la utilización de datos extraídos de un proyecto real, ni se validó en un proyecto real.

9 METODOLOGÍA

La metodología propuesta en este estudio, consta de tres fases que buscan dar respuesta a los objetivos planteados. Esta metodología, es una estructura conceptual de programación y control de proyectos que aprovecha herramientas de la metodología integral y dinámica de sistemas, propuesta por González et al. (2012).

Fase 1. Identificación de los elementos de clave en el proceso de control de proyectos:

En esta fase se busca por medio de la revisión de los estudios realizados alrededor del tema, caracterizar la estructura de la ejecución de proyectos, por medio de la identificación de elementos que lo componen.

Fase 2. Experimentación utilizando Dinámica de Sistemas:

En esta etapa del estudio, se implementará la fase teórica de la metodología integral y dinámica para la representación de proyectos la cual permite, combinar las herramientas y conceptos clásicos de programación y control de proyectos con la dinámica de sistemas. No se aplicará la fase organizacional de la metodología en este estudio, por tratarse de un desarrollo netamente conceptual.

Con esta fase se busca caracterizar la estructura de las demoras en los puntos de control.

Fase 3. Análisis y conclusiones: Una vez obtenidos los resultados de la experimentación con dinámica de sistemas, se establecieron las relaciones existentes entre la estructura de localización y número de puntos de control.

La Figura 10 muestra la estructura general de la metodología propuesta.

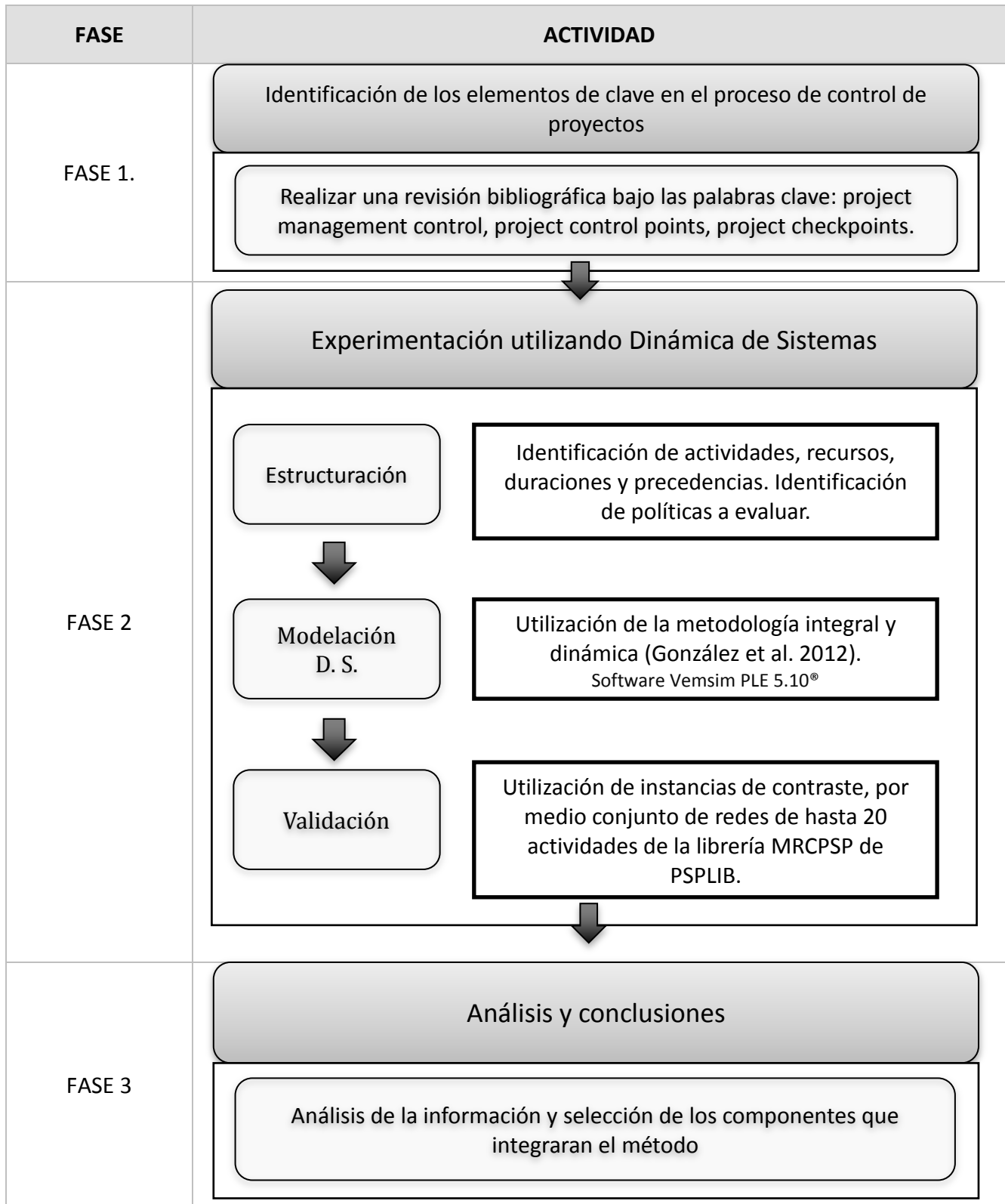


Figura 10. Metodología propuesta

9.1 ESTRUCTURACIÓN DEL ESTUDIO

Para la realización de este estudio, se realizó un modelo utilizando dinámica de sistemas cuyo objetivo era la determinar de la discrepancia entre la finalización planeada y real de proyectos, con la variación de periodos de control, demoras en el inicio de los controles y el establecimiento de diferentes políticas para la colocación de puntos de control, llamadas en el estudio políticas de priorización. Estas variables se probaron en redes con diferente estructura. Las fuentes de variabilidad utilizadas en el modelo, se muestran de manera general en la figura 11.

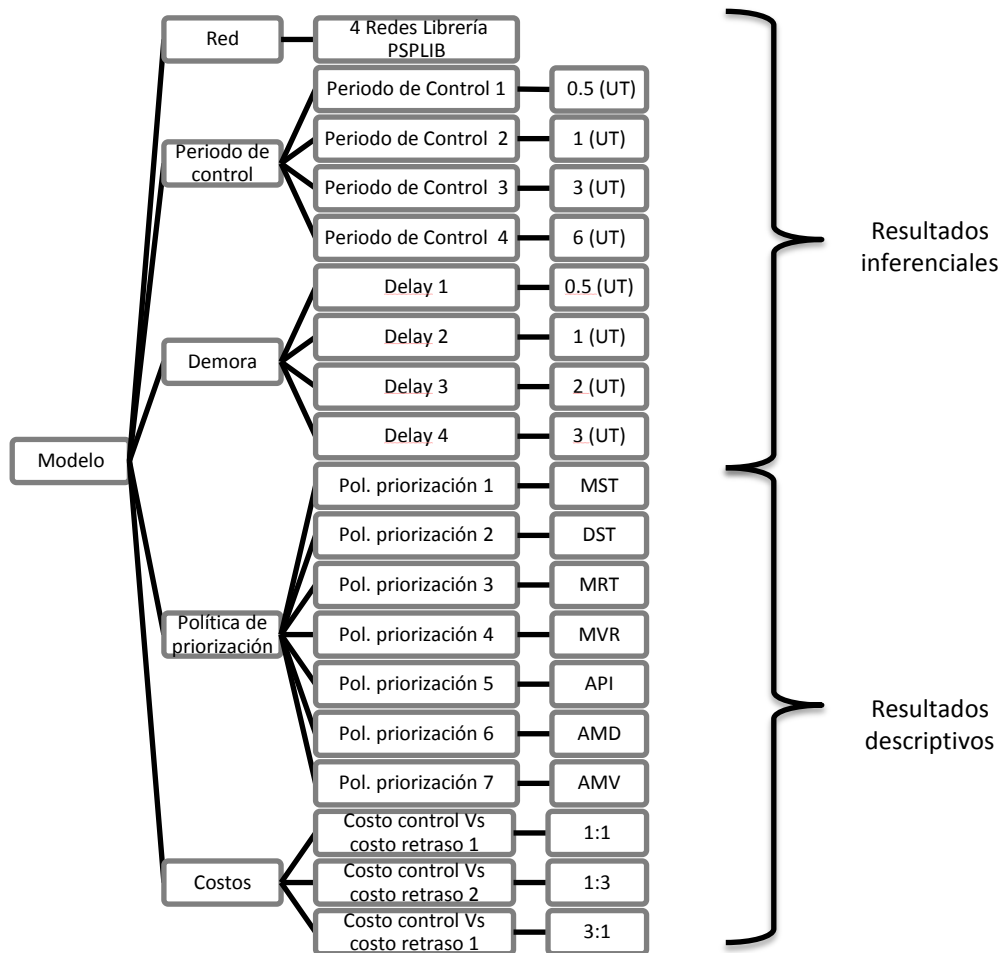


Figura 11. Fuentes de variabilidad utilizadas en el estudio.

Los resultados de este estudio están divididos en dos: resultados inferenciales y resultados descriptivos. Los resultados inferenciales se obtuvieron del desarrollo de un diseño de experimentos en el cual analizó los diferentes periodos de control y las diferentes demoras. Por otro lado, los resultados descriptivos se obtuvieron de analizar las diferentes

políticas de priorización y los costos de control y costos de retraso asociados a los proyectos.

A continuación se desglosarán cada uno de las variables que se contemplaron en el estudio.

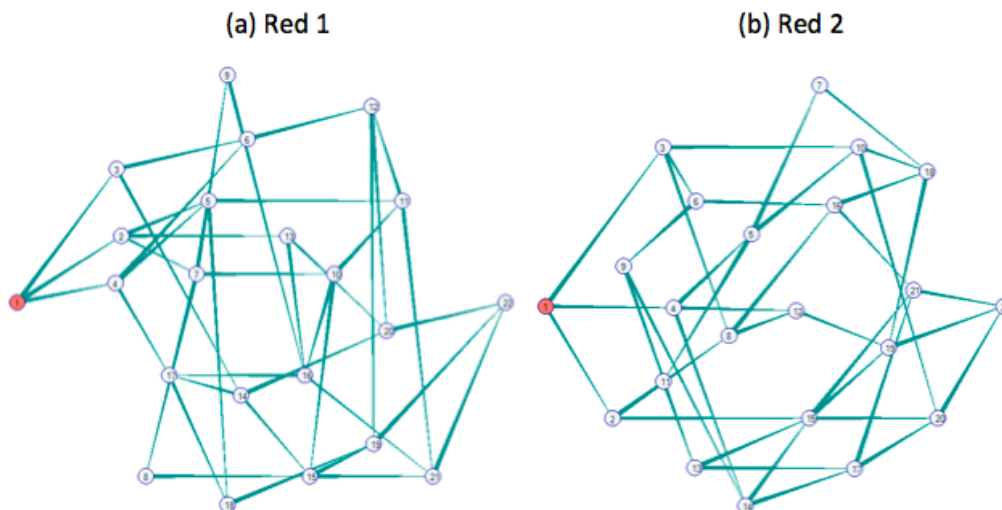
9.1.1 REDES

En este estudio, se realizó un análisis de proyectos grandes según la clasificación hecha por Madadi et al. (2012), las cuales tienen 20 actividades. Para realizar la estructuración de estas redes se utilizaron las instancias de contraste de la librería de PSPLIB, de la cual se seleccionaron 4 (anexo 1). Asimismo, fueron asignados de manera aleatoria, 5 recursos renovables por medio de una distribución de Bernoulli, de tal manera que cada recurso se encuentra presente en promedio en 13 actividades. Por otro lado, para calcular la rutas críticas de cada actividad, se utilizó el programa Microsoft Project (o MSP). La tabla 1 muestra las redes seleccionadas, con las actividades pertenecientes a la ruta crítica.

Nombre de Red	Nombre en PSPLIB	Actividades en la ruta crítica						
		2	7	10	16	17	18	19
Red 1	J206_3	2	7	10	16	17	18	19
Red 2	J209_2	4	5	11	13	17	21	
Red 3	J2010_7	3	6	8	12	16	20	
Red 4	J2013_10	2	3	8	11	16	19	

Tabla 1. Redes seleccionada.

Asimismo, la figura 12 muestra la estructura de las redes seleccionadas en el estudio.



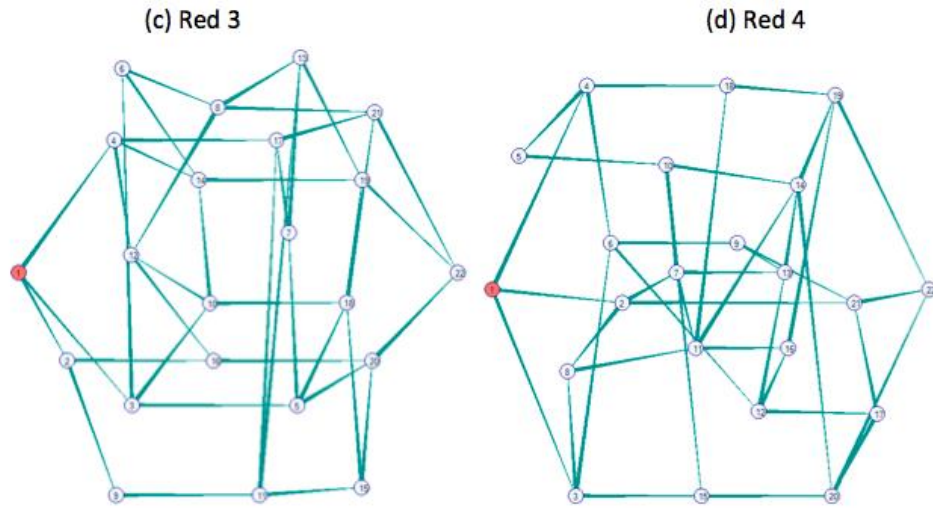


Figura 12. Estructura de las redes utilizadas en el estudio

9.1.2 PERIODO DE CONTROL

El periodo de control es el tiempo en el cual se realiza una revisión del avance del proyecto con respecto a su plan inicial. En el caso de existir diferencias entre el valor planeado y el real que afecten negativamente el proyecto, se activa una política de control encaminada a minimizar dicha discrepancia.

Para la selección de los valores a evaluar en el estudio, se realizaron unas curvas piloto donde se deseaba observar cuales eran los periodos de control más apropiados para el estudio, esta experimentación se realizó utilizando diferentes valores de demoras o demoras para analizar los resultados de una manera integral. Al observar la figura 13 se determinó que se probarían valores entre 0.5 y 6, dado que después de este punto, los valores de la discrepancia tendían a estabilizarse en valores cercanos al no control.

Para este estudio los periodos de control establecidos fueron: 0.5, 1, 3 y 6 unidades de tiempo (UT). Si la UT estuviera dada por meses, se realizarían controles, quincenales, mensuales, trimestrales y semestrales.

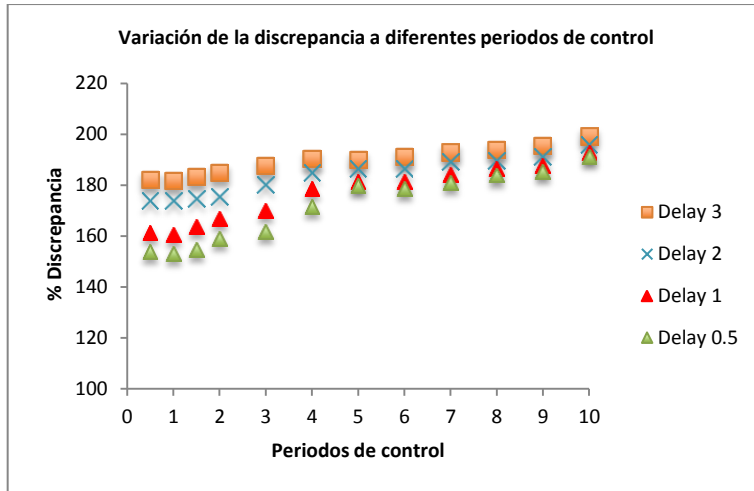


Figura 13. Variación de las discrepancias a diferentes periodos de control en red 1.

9.1.3 DEMORAS

Las demoras utilizadas en este estudio se definieron como el tiempo que se emplea, una vez se ha identificada la discrepancia, para empezar a ejecutar la política de control.

Al igual que con los periodos de control, para la selección de los valores de demora a evaluar, se realizaron unas curvas piloto donde se deseaba observar cuales eran las demoras más apropiadas para el estudio, esta experimentación se realizó utilizando diferentes valores de periodos de control. Al observar la figura 14 se llegó a la conclusión de que se probarían valores entre 0.5 y 3, pues después de este punto los valores de la discrepancia tendían a ser similares para todos los periodos de control.

Para este estudio se establecieron las siguientes demoras: 0.5, 1, 2 y 3 unidades de tiempo UT.

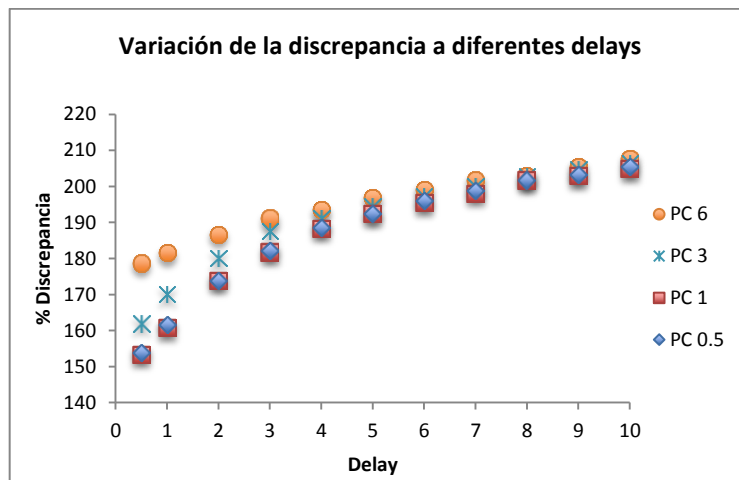


Figura 14. Variación de las discrepancias a diferentes demoras en red 1.

9.1.4 POLÍTICAS DE PRIORIZACIÓN

Las políticas de priorización en este estudio, son unos parametros de establecimiento del orden en el que se controlan las actividades en una red, con el fin de determinar cuales son las actividades de mayor importancia para tal fin y con ello encontrar una manera eficiente de colocar los controles a lo largo de un proyecto. En el estudio se establecieron las 8 políticas de priorización que se muestran a continuación:

- a. ARC: Actividades en la ruta crítica. Control de las actividades que pertenecen a la ruta crítica.
- b. MST: Número mayor de sucesores totales por actividad. Es la cuenta del número total de sucesores que tiene cada actividad evaluada desde la actividad número 1 hasta la número 20 y ordenadas de mayor a menor de acuerdo a la cantidad de sucesores que tiene cada una.
- c. DTS: Duración total de sucesores por actividad. Es la suma total de las duraciones de los sucesores de cada actividad evaluada desde la actividad número 1 hasta la número 20 y ordenadas de mayor a menor.
- d. MRT: Número mayor de recursos totales en los sucesores por actividad. Es la suma total de los recursos de los sucesores de cada actividad evaluada desde la actividad número 1 hasta la número 20 y ordenadas de mayor a menor.
- e. MVR: Mayor variación en la actividad causada por los recursos, por la duración de cada actividad para todos los sucesores. Es suma total de la variación de cada actividad por la duración de la misma para todos los sucesores, evaluada desde la actividad número 1 hasta la número 20 y ordenadas de mayor a menor.
- f. AMD: Actividad de mayor duración. La priorización se realiza verificando la duración de cada actividad y ordenandola de mayor a menor.
- g. AMV: Actividad de mayor variabilidad. La priorización se realiza verificando la variabilidad de cada actividad y ordenandola de mayor a menor.
- h. API: Actividades priorizadas por iteración. El método API, es un método propuesto en este estudio, que busca por medio de pocas iteraciones en el programa Vensim, llegar a una priorización de actividades a controlar en proyectos, de tal forma que se disminuya los costos y esfuerzo asociado a este proceso.

La política ARC, es una de las políticas más utilizadas, dado que se tiene el supuesto de no holgura de duración entre las actividades que componen esta ruta. Las políticas MST, DTS, MRT fueron tomadas de las reglas de priorización utilizadas en problemas de

secuenciación establecidos por Hartmann (1999), siendo la priorización MRT una modificación de una regla existente.

En los caso de presentarse empate entre las actividades con estas políticas, se determinaron tres reglas de desempate para estas reglas de priorización las cuales se aplicaron en el siguiente orden:

1. Actividad que se encuentre en la ruta critica
2. Actividad que tenga mayor número de recursos
3. Actividad que tenga la mayor duración

Las dos últimas políticas fueron propuestas en este estudio, MVS contempla que la variabilidad en el modelo esta dada por los recursos utilizados en cada actividad.

Para la ultima regla establecida MVR, la regla de desempate fue la siguiente:

1. La actividad que tuviera una mayor variabilidad.

MÉTODO API

API es un método sistemático de simulación en Vensim, que busca las actividades que se deben controlar en una red para llegar a un “control total”, es decir, para llegar al mismo resultado que se obtendría si se controlaran todas las actividades de la red. Para ejecutar este método, se realizan iteraciones que buscan encontrar el peso que tiene el control de cada actividad y sus combinaciones, sobre la discrepancia final. Este método contempla niveles de iteración que señalan la importancia de cada actividad para su control, es decir, las actividades encontradas en el nivel 1 tienen más relevancia para el control que las actividades encontradas en el nivel 2. Sin embargo, dada las relaciones de precedencia entre las actividades, en algunas ocasiones es necesario intercalar el orden de control entre los niveles para observar el efecto que tiene controlar unas actividades sobre otras.

A continuación se muestran los pasos a seguir en este método:

1. Se activa el control en cada una de las actividades de manera independiente y se determina el tiempo de finalización con ese control. El tiempo de finalización al controlar cada actividad se compara con el tiempo de finalización sin control del proyecto.
2. Se identifica cuales de las actividades presentaron una disminución en el tiempo de finalización al ser controladas, es decir que la diferencia entre las dos variables sea mayor a cero. A estas actividades las llamaremos actividades de primer nivel de iteración.

La tabla 2 muestra el ejemplo de la aplicación de los dos primeros pasos del método en la red 1.

Actividad	Tiempo final sin control (UT)	Tiempo Final con control (UT)	Diferencia
2	72,813	70,563	2,25
3	72,813	72,813	0
4	72,813	72,813	0
5	72,813	72,813	0
6	72,813	72,813	0
7	72,813	71,313	1,5
8	72,813	72,813	0
9	72,813	72,813	0
10	72,813	68,750	4,0625
11	72,813	72,813	0
12	72,813	72,813	0
13	72,813	72,813	0
14	72,813	72,813	0
15	72,813	72,813	0
16	72,813	72,125	0,6875
17	72,813	68,750	4,0625
18	72,813	70,750	2,0625
19	72,813	72,188	0,625
20	72,813	72,813	0
21	72,813	72,813	0

Tabla 2. Método API, primer nivel de iteración.

- Se ordena de mayor a menor las actividades por la diferencia hallada entre el fin real y el fin sin control. Este orden se muestra en la tabla 3.

Actividad	Tiempo final sin control (UT)	Tiempo Final con control (UT)	Diferencia
10	72,813	68,750	4,0625
17	72,813	68,750	4,0625
2	72,813	70,563	2,25
18	72,813	70,750	2,0625
7	72,813	71,313	1,5
16	72,813	72,125	0,6875
19	72,813	72,188	0,625

Tabla 3. Orden de las actividades del primer nivel de iteración.

4. Se activa el control en estas actividades y se vuelve a iterar con las actividades que no realizaron ningún cambio en el primer nivel. Las actividades del primer nivel son: la 10, 17, 2, 18, 7, 16 y 19. Controlando estas actividades se obtienen un valor de 68,313 UT en el tiempo final (fin parcial).
5. Con los valores obtenidos con el control individual de las actividades del segundo nivel, se halla la diferencia con el fin del control parcial de las actividades del primer nivel. La tabla 4 muestra los resultados encontrados en el segundo nivel de iteración.

Actividad Nivel 2	Tiempo Final con control parcial Nivel 1 (UT)	Tiempo Final con control Nivel 2 (UT)	Diferencia (UT)
3	68,313	57,875	10,438
4	68,313	68,313	0,000
5	68,313	68,313	0,000
6	68,313	67,000	1,313
8	68,313	68,313	0,000
9	68,313	68,313	0,000
11	68,313	68,313	0,000
12	68,313	68,313	0,000
13	68,313	68,313	0,000
14	68,313	66,813	1,500
15	68,313	65,563	2,750
20	68,313	68,313	0,000
21	68,313	68,250	0,063

Tabla 4. Segundo nivel de iteración.

6. Los valores que se encuentren por encima de 0, se toman para el proceso de control y de se ordenan de mayor a menor en términos de la diferencia. Este orden se muestra en la tabla 5.

Actividad	Tiempo Final con control parcial Nivel 1 (UT)	Tiempo Final con control Nivel 2 (UT)	Diferencia
3	68,313	57,875	10,438
15	68,313	65,563	2,750
14	68,313	66,813	1,500
6	68,313	67,000	1,313
21	68,313	68,250	0,063

Tabla 5. Orden de las actividades del segundo nivel de iteración.

7. Se verifica si la primera actividad del segundo nivel es predecesora de la segunda actividad del primer nivel, y en caso afirmativo se coloca como predecesora de esta actividad en el orden. El resto de actividades se ordenan de mayor a menor por el valor de la diferencia. La tabla 6 muestra el nuevo orden teniendo en cuenta las actividades predecesoras.

Actividad	Diferencia
10	4,0625
3	10,4375
17	4,0625
15	2,75
2	2,25
18	2,0625
14	1,5
7	1,5
6	1,3125
16	0,6875
19	0,625
21	0,0625

Tabla 6. Orden con actividades predecesoras

8. Se realiza el perfil de control de acuerdo al orden de priorización hallado y se comprueba que con estos controles se llega al máximo valor de control posible, es decir, se compara contra una corrida con todos los controles activos. La tabla 7 muestra los resultados de este perfil.

No. Priorización	Act. Priorizada	Tiempo Planeado	Tiempo Final con control	% Disc
1	10	21,9375	68,75	213,390
2	3	21,9375	65	196,296
3	17	21,9375	60,875	177,493
4	15	21,9375	60,875	177,493
5	2	21,9375	59,5	171,225
6	18	21,9375	57,8125	163,533
7	14	21,9375	56,875	159,259
8	7	21,9375	56,875	159,259
9	6	21,9375	56,875	159,259
10	16	21,9375	56,0625	155,556
11	19	21,9375	55,6875	153,846
12	21	21,9375	55,6875	153,846

Tabla 7. Valores de tiempo final en el orden de priorización API

9. Se verifica si es posible eliminar alguna actividad.

En el caso de la red 1, es posible eliminar la actividad 21, pues no es predecesora de ninguna de las actividades presentes y no agrega valor al control. Por lo cual, la ruta final de control con el método API comprende las siguientes actividades:

Actividades Priorizada con API: 10, 3, 17, 15, 2, 18, 14, 7, 6, 16, 19

Este método permite con el control de 11 actividades tener el máximo control posible. Es importante tener en cuenta, que si no se cuenta con recursos para controlar todas las actividades encontradas por este método, se debe seguir el orden de selección de arriba hacia abajo.

En la tabla 8 se muestra el orden de priorización de actividades para las políticas establecidas en cada una de las redes.

Red	Pol. Prior	Actividad																			
Red 1	ARC	2	7	10	16	17	18	19													
	MST	2	7	3	4	10	5	14	13	9	11	16	6	8	17	15	12	18	21	19	20
	DST	2	7	3	4	10	14	13	9	16	5	8	11	17	6	15	12	18	21	19	21
	MRT	2	7	3	10	4	14	5	13	9	16	11	6	8	17	12	15	18	21	19	20
	MVR	2	7	3	10	4	14	13	9	16	5	8	17	11	6	12	15	18	19	20	21
	AMD	10	3	4	9	17	7	15	6	18	16	14	8	11	13	5	21	2	19	12	20
	AMV	3	10	4	17	9	15	18	14	13	11	7	5	2	8	19	6	12	20	16	21
	API	10	3	17	18	2	6	7	19	14	16	15									
Red 2	ARC	4	5	11	13	17	21														
	MST	3	4	5	6	2	9	11	13	14	8	15	16	10	7	17	12	18	19	20	21
	DST	4	3	5	2	6	8	9	11	13	14	15	16	10	17	7	12	18	19	20	21
	MRT	3	4	5	6	2	9	13	11	14	8	15	16	10	7	17	12	18	19	20	21
	MVR	3	4	5	6	2	9	8	11	13	14	15	16	17	10	7	12	18	19	20	21
	AMD	12	7	11	3	13	21	4	17	10	6	9	19	16	8	15	2	5	20	14	18
	AMV	12	21	7	19	17	9	13	3	11	6	16	15	2	5	20	4	10	8	14	18
	API	3	17	21	9	6	13	19	12	8	4										
Red 3	ARC	3	6	8	12	16	20														
	MST	3	2	6	9	4	5	11	8	10	7	15	18	12	13	16	14	17	20	21	19
	DST	3	2	6	9	8	5	11	4	7	10	15	12	18	16	13	14	17	20	21	19
	MRT	3	2	6	9	8	5	11	4	10	7	15	18	12	16	13	14	17	20	21	19
	MVR	3	2	6	8	9	11	5	4	7	10	15	12	16	17	13	14	18	19	20	21
	AMD	2	13	20	8	16	19	21	6	4	17	5	10	11	3	12	7	9	15	14	18
	AMV	13	20	2	21	19	4	16	8	6	11	5	10	15	3	18	7	12	9	14	17
	API	20	6	8	16	3	12														
Red 4	ARC	2	3	8	11	16	19														
	MST	2	4	3	7	6	12	8	11	9	5	10	13	17	14	15	18	16	19	21	20
	DST	2	3	4	7	6	12	8	11	5	10	9	13	14	18	16	17	15	19	21	20
	MRT	2	4	7	3	6	12	8	9	11	5	10	17	13	14	15	18	16	19	21	20
	MVR	2	4	7	3	6	12	8	11	9	5	10	13	14	17	16	18	15	19	20	21
	AMD	19	8	12	16	9	15	11	17	4	18	7	2	3	21	13	20	10	14	5	6
	AMV	11	17	9	12	16	4	19	21	3	18	2	14	10	7	8	13	20	6	5	15
	API	12	11	17	19	4	16	21	8	6	3	9									

Tabla 8. Orden de priorización de control de actividades para cada política propuesta

9.1.5 COSTOS

Para el análisis de costos en el estudio se tuvieron en cuenta el costo de control y el costo de retraso del proyecto, con el fin de evaluar como tenían influencia el uno y el otro a lo largo del proyecto cuando éste es controlado en una mayor o menor intensidad.

Dado que los valores de control y de retraso varían dependiendo del proyecto y del sector en el que se realizan, se probaron las siguientes relaciones entre el costo de control y el costo de retraso:

1. Costo de control vs Costo de retraso (1:1)
2. Costo de control vs Costo de retraso (1:3)
3. Costo de control vs Costo de retraso (3:1)

9.2 ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO EN DINÁMICA DE SISTEMAS

La utilización de dinámica de sistemas para modelar proyectos parte de la consideración que un proyecto puede definirse como un sistema dinámico y que puede representarse por medio de redes de actividad, con actividades sobre los nodos (AON). Teniendo en cuenta lo anterior, Gonzáles et al. (2007) adaptó la Metodología Integral y Dinámica propuesta por Kalenatic (2001), a la representación del proyecto como sistema dinámico. La metodología propuesta Gonzáles cuenta con 11 etapas que se muestran en la figura 15.



Figura 15. Metodología Integral y Dinámica aplicada a la programación de proyectos.

Basándose en estas etapas, González (2007), definió el símil dinámico que permite representar proyectos, teniendo como componentes básicos de modelación las actividades, los recursos y las relaciones de precedencia. A continuación se describen cada uno de esos componentes.

9.2.1 ACTIVIDADES

La representación de las actividades que componen los proyectos en dinámicas de sistemas, están dados niveles que va acumulando el grado de ejecución en términos porcentuales, los cuales varían de 0 a 100%, en función del tiempo. La figura 16 muestra el diagrama de Forrester que representan una actividad.

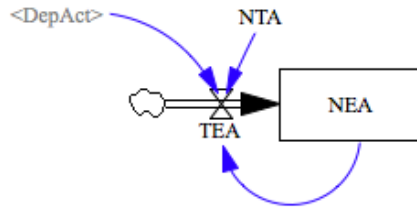


Figura 16. Representación de la actividad en el diagrama de Forrester

El nivel de ejecución de la actividad NEA se define en función de la tasa de ejecución de la actividad TEA de acuerdo con la ecuación básica de un nivel (1):

$$NEA_K = NEA_J + TEA_{JK} * DT \quad (1)$$

Donde DT representa el paso de tiempo de la simulación.

La tasa de ejecución de la actividad define en términos porcentuales, el ritmo al que se ejecuta la actividad en función de la norma técnica de la actividad NTA, y de la ejecución estándar dicha norma técnica. En la tasa de ejecución se toman las decisiones de iniciación de acuerdo a la estructura del proyecto y de finalización a partir de la información del nivel de ejecución de la actividad. Por lo cual, solo si $NEA_j = 100\%$ para toda actividad j precedente TEA_{JK} puede asumir valores mayores a cero.

Asimismo, la norma técnica de la actividad NTA es la duración estándar de la actividad para una tecnología particular y un nivel de asignación de recursos específico. En el modelo propuesto en esta investigación solo se utilizó un modo de ejecución determinado para una tecnología estándar. Esta norma técnica influye en la tasa de ejecución de acuerdo a la ecuación (2).

$$TEA_{JK} = 100/NTA \quad (2)$$

Para poder modelar la totalidad del proyecto, se hace necesario que las diferentes actividades estén vinculadas por las relaciones de precedencia, de tal manera que una actividad solo puede ejecutarse cuando sus actividades precedentes han sido ejecutadas al 100%. Para la modelación del requisito de precedencias y como herramienta que

permite facilitar la representación de redes de gran número de actividades se utiliza una variable auxiliar denotada $DepAct_j$ donde el subíndice "j" indica el nombre de la actividad. La variable auxiliar $DepAct_j$ es binaria y toma el valor de 1, cuando el nivel de ejecución del conjunto de predecesoras de "j" (pred j) es mayor al 100%. Las figuras 17 y 18 muestran la estructura de la red 1 y las relaciones de precedencia de dicha red respectivamente.

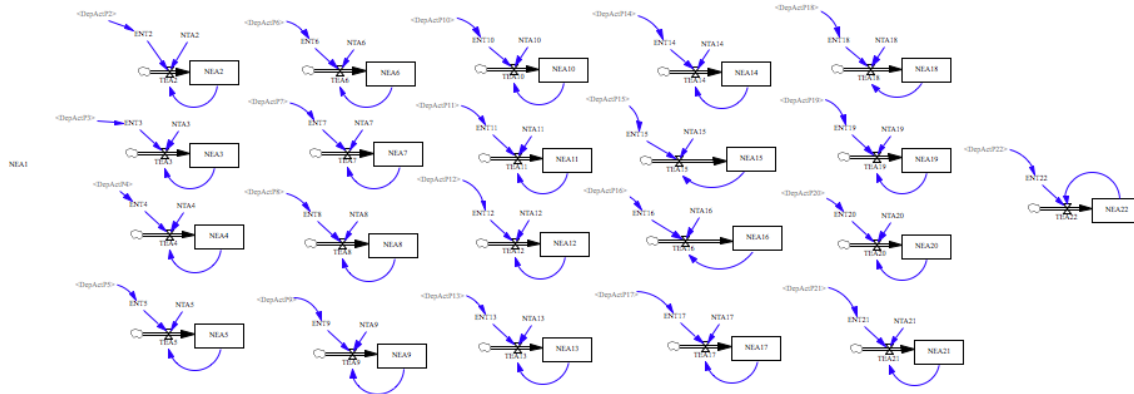


Figura 17. Representación de una red planeada, estructuración de la red 1.

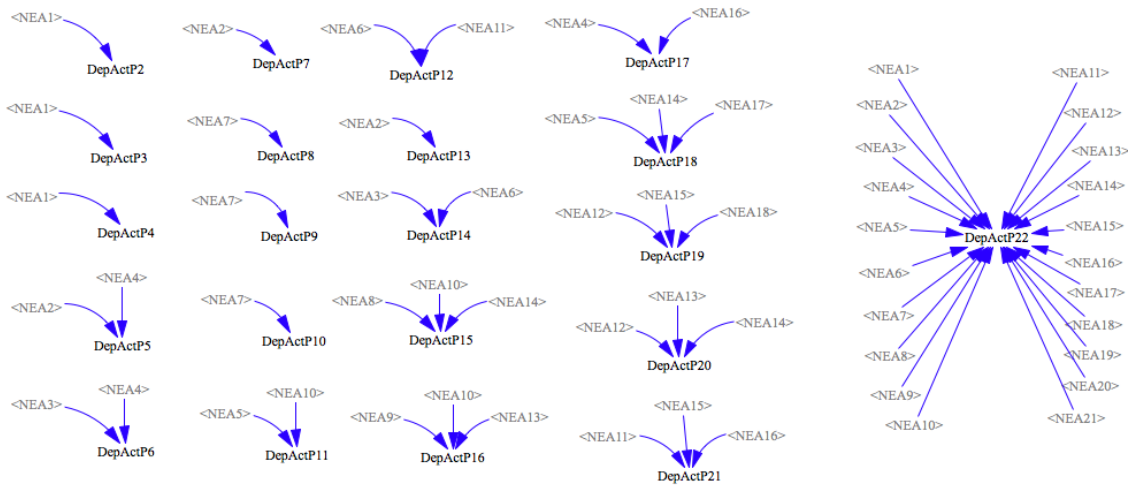
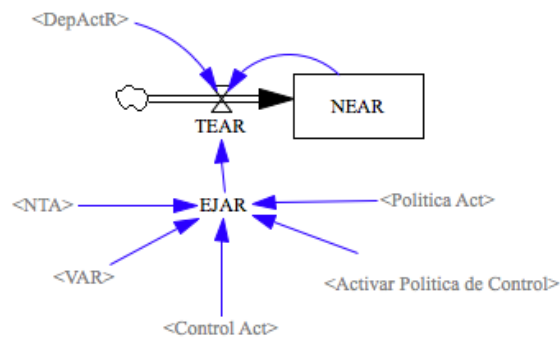


Figura 18. Relaciones de precedencia de la red 1.

Por otro lado, para construir la red de ejecución real, fue necesario incluir nuevos elementos que permitieran simular el comportamiento de un proyecto real, en términos de variabilidad y control del sistema. La figura 19 muestra la representación de una actividad real.



19. Representación de una actividad real.

Para facilitar la estructuración de la actividad real, se incluyó la variable Ejecución de Actividad Real $EJAR_j$, donde el subíndice “j” indica el nombre de la actividad, la cual recoge los aspectos asociados a la variabilidad, control y duración de la actividad para entregarle a la tasa de ejecución real, una orden concreta. Los elementos adicionales que la componen son los siguientes:

- VAR: Es la variabilidad del sistema asociada a los recursos.
- Control Act: Variable binaria que toma valores de 1 si la actividad va a ser controlada y de 0 si no se controla.
- Activar política de control: Variable binaria que influye todas las actividades de la red, toma el valor de 1 cuando se activa el control en todo el proyecto y de 0 cuando se deja el proyecto sin control.
- Política Act: Es la política de control utilizada para contrarrestar la discrepancia existente.

La variable $EJAR$ utiliza una condicional la cual pregunta si la política de control esta activa y si esa actividad se controla, en caso afirmativo $EJAR_j$ se calcula según (3)

$$EJAR = (100/NTA) * Política Act * VAR \quad (3)$$

De lo contrario se ejecuta la ecuación (4).

$$EJAR_j = (100/NTA_j) * VAR_j \quad (4)$$

Asimismo, cada actividad puede tener asociados según su estructura, cinco recursos renovables, los cuales son los responsables de la variabilidad del modelo. La figura 20 muestra la estructura de la generación de la variabilidad en el modelo.

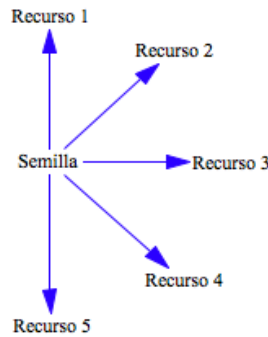


Figura 20. Generación de variabilidad de los recursos en el modelo.

Es importante aclarar que este estudio no contempla el origen de la variabilidad y ésta se encuentra determinada por un aleatorio normal, que varía en un rango de 0 a 1, con una media de 0,7792, teniendo en cuenta que según Rueda (2009) los proyectos presentan retrasos en promedio de un 22,078% y una desviación estándar que para cada recurso, se calculó entre un rango de 0.03 a 0.36, de acuerdo a los valores presentados por Madadi et al. (2012). La tabla 9 muestra las desviaciones utilizadas para calcular cada recurso.

Recurso	Desviación estándar
Recurso 1	0,03
Recurso 2	0,11
Recurso 3	0,19
Recurso 4	0,28
Recurso 5	0,36

Tabla 9. Desviaciones utilizadas en los recursos.

Para el cálculo de la variabilidad total asociada a cada actividad, es necesario por un lado verificar si los recursos están asociados a la actividad lo cual se realizó mediante la variable binaria AR, la cual tomaba valores de 1, si el recurso se encuentra presente en la actividad y de 0 en el caso contrario. Y por otro, verificar si la actividad se está ejecutando, lo cual se realiza verificando si el nivel de ejecución de la actividad NEA, se encuentra dentro de los valores 0 y 100% de ejecución, es decir $0 \leq NEA \leq 100$. Si estos dos requisitos se cumplen, se acumula en la variable VARR. La figura 21 muestra la estructura de la variabilidad en el modelo.

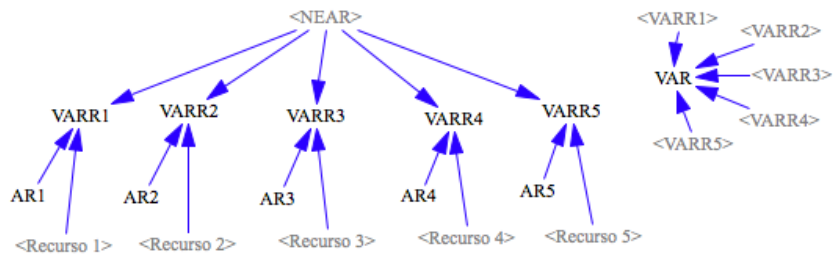


Figura 21. Estructura de la variabilidad de una actividad.

La variabilidad de cada recurso, es multiplicada en la variable VAR para calcular la variabilidad global asociada a la actividad de acuerdo a (5). Esta operación se realiza en cada una de las actividades que componen el modelo.

$$VAR = VARR1 * VARR2 * VARR3 * VARR4 * VARR5 \quad (5)$$

9.2.2 POLÍTICA DE CONTROL

La política de control utilizada para contrarrestar las discrepancias en este estudio fue la propuesta por Rueda et al. (2011), la cual plantea acelerar la ejecución del proyecto en la medida que éste se encuentra retrasado. Esta política se muestra en la ecuación (6).

$$Politica Act = (1 + Discrepancia) \quad (6)$$

Dado que el alcance del estudio no contemplaba el efecto de diferentes políticas de control, se utilizó una política genérica que no introdujera variabilidad al modelo y esta fue aplicada en todos los procesos de control.

La aplicación de esta política de control en el modelo, se realiza en cada una de las actividad susceptible a ser controlada, una vez se verifique si existe discrepancia entre la ejecución planeada y la ejecución real y se realiza en los periodos de control establecidos y se empieza a ejecutar de acuerdo a las demoras determinadas para la experimentación. La figura 22 muestra la estructuración de la política en el modelo.

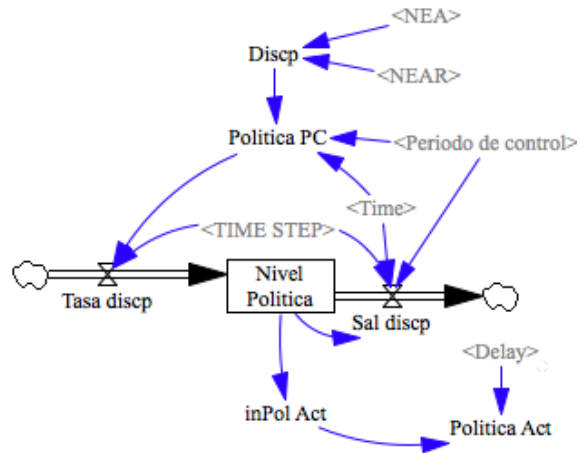


Figura 22. Estructura de la política para cada actividad.

Las variables utilizadas en el modelo para el cálculo de la política son las siguientes:

- Discp: Discrepancia, la cual se calcula haciendo una relación entre el nivel de ejecución real y el nivel de ejecución planeada para verificar si el proyecto se encuentra retrasado.
- Política PC: Es el cálculo de la política $(1 + \text{Discp})$ teniendo en cuenta el periodo de control utilizado en cada experimentación. Relaciona el tiempo (Time), con el Periodo de Control para verificar que esta política se ejecute en el tiempo esperado.
- Tasa discp: Ingresa el valor calculado de la política, esta variable se divide por el DT que en el modelo se conocen como TIME STEP, para que solo ingrese el valor calculado de la política.
- Nivel política: Hace la diferencia entre la Tasa discp y la salida discp. Se utiliza este nivel para poder ejecutar la política en varios DT
- Sal discp: arroja el valor calculado de la política.
- inPol: Verifica que el nivel de la política sea mayor que 1.
- Política Act: Utiliza el valor de la política, en un tiempo retrasado según la demora establecida. Esta política se hace efectiva hasta que se haga la siguiente verificación de la discrepancia.

9.2.3 COSTOS

Para determinar el Costo de control dentro del modelo, fue necesario realizar una estructura que permitiera contar cuantos controles se realizaban, teniendo en cuenta el

periodo de control establecido para el análisis. Una vez realizado este conteo se determinó el costo del control con la ecuación (7).

$$\text{Costo de control total} = \sum_{i=1}^{20} \text{Número de Controles}_i * \text{Costo de control} \quad (7)$$

Siendo “i” cada una de las actividades que componen la red.

La figura 23 muestra la estrura utilizada dentro del modelo para la determinación del costo del control.

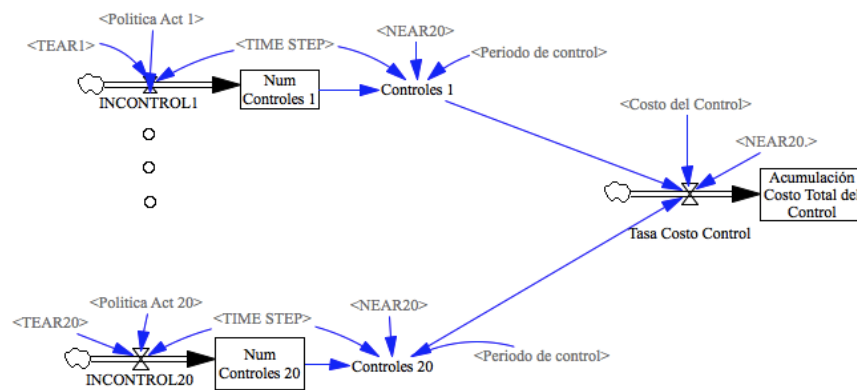


Figura 23. Estructura de costo de control en el modelo.

Las variables adicionales utilizadas en el modelo para el cálculo de costo del control son las siguientes:

- Incontrol: Realiza la verificación de que la actividad evaluada se esta ejecutando y controlando e ingresa valores de 1, lo cual indica que la actividad esta siendo controlada.
- Num Controles: Va acumulando el número de Incontrol.
- Controles: Verifica que todas las actividades ya se hayan ejecutado y determina el número de controles realizados teniendo en cuenta el periodo de control y los valores arrojados en Incontrol.
- Costo control: Unidades monetarias asignadas al costo del control unitario.
- Tasa costo control: Verifica que el proyecto se haya terminado y multiplica el total de controles realizados en todas las actividades por el costo unitario de control.
- Acumulación costo total del control: Nivel que acumula el costo del control

Por otro lado, el costo de retraso esta determinado por la discrepancia entre el fin planeado y fin real del proyecto. Para su estimación se utilizó la ecuación (8).

$$\text{Costo de retraso} = (\text{Fin real} - \text{Fin planeado}) * \text{costo del retraso} \quad (8)$$

La figura 24 muestra la estructura utilizada dentro del modelo para la determinación del costo del retraso.

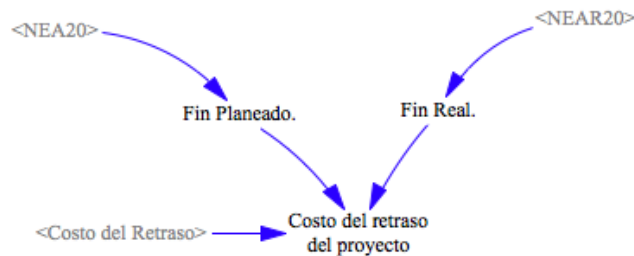


Figura 24. Estructura de costo de retraso en el modelo.

Las variables adicionales utilizadas en el modelo para el cálculo de costo del retraso son las siguientes:

- Fin planeado: Unidades de tiempo utilizadas para la ejecución de la red planeada.
- Fin real: Unidades de tiempo utilizadas para la ejecución de la red real.
- Costo de retraso: Unidades monetarias asignadas al costo del retraso para cada unidad de tiempo.
- Costo del retraso del proyecto: Cálculo del retraso en unidades monetarias.

9.3 METODOLOGÍA DE RESULTADOS INFERENCIALES

El objetivo de un experimento es realizar una serie de pruebas en donde, a través de cambios en las variables de entrada a un proceso o sistema se puedan detectar las razones de los cambios en las variables de salida (Montgomery, 2001).

En el caso de la presente investigación, se desea diseñar un experimento que permita contrastar los efectos de diferentes periodos de control y de diferentes demoras sobre la variable respuesta que es porcentaje de discrepancia entre el fin planeado y el fin real de un proyecto, para diferentes redes, por lo cual se puede deducir que utilizar un modelo factorial es una buena aproximación metodológica. En efecto, el modelo que más se ajusta al propósito del experimento es el factorial completo.

El modelo planteado puede representarse así:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde y_{ijkl} es el valor de la variable respuesta, explicada por la media general (μ) más la suma de los tres efectos principales (α , β y γ), las tres interacciones dobles ($\alpha\beta$, $\alpha\gamma$, $\beta\gamma$), la interacción triple ($\alpha\beta\gamma$) y el error aleatorio.

Los efectos principales se presentan a continuación (9):

Donde:

$i = 1, 2, 3, 4$	Red	(9)
$j = 1, 2, 3, 4$	Periodo de control	
$k = 1, 2, 3, 4$	Demora	
$l = 1 \dots m$	Réplicas	

Los parámetros del experimento se muestran en la tabla 10:

Parámetros del modelo dinámico bajo el diseño factorial	
Número de actividades por red	20
Número de Factores	2
Número de niveles por factor	4
Número de redes	4
Nivel de complejidad de las redes	1,85

Tabla 10. Parámetros constantes del modelo dinámico para el experimento.

El nivel de complejidad de la red se define constante con un valor de 1,85 actividades sucesoras promedio por actividad.

El objetivo general del experimento es estudiar los factores y las interrelaciones que influyen en el porcentaje de discrepancia entre el fin planeado y el fin real de un proyecto para los niveles establecidos.

- Factores: variables controlables (periodo de control y demora).
- Tratamiento: es la combinación de los dos factores (celda)
- Unidad Experimental: redes sobre las cuales se mide la duración del proyecto.
- Variable respuesta: Dado que las redes de actividad utilizadas para el experimento pueden contemplar duraciones diferentes, la variable respuesta empleada es el porcentaje de discrepancia entre el tiempo de finalización planeado y el tiempo de finalización real de un proyecto (10):

$$DISCT = \frac{fin\ real - fin\ planeado}{fin\ planeado} * 100 \quad (10)$$

La metodología utilizada para la realización del experimento sigue el siguiente procedimiento:

- a. Selección de las redes de actividad en la librería del problema de secuenciación de proyectos (anexo 1): En este paso se seleccionaron 4 redes de 20 actividades con complejidad constante e igual a 1,85.
- b. Asignación de los recursos que afectan cada actividad, responsables de la variabilidad del modelo en la red real. Ya que en un proyecto no todas las actividades utilizan el mismo número y tipo de recursos, y todos los recursos no están sometidos a las mismas de variabilidad, se asignó aleatoriamente los recursos que afectaban a cada una de las actividades.
- c. Construcción de los modelos dinámicos: de acuerdo con el diseño del modelo dinámico para la medición.
- d. Cálculo de las duraciones de cada para una de las redes planeadas (sin variabilidad).
- e. Experimentación y replicas: con base en el modelo dinámico se calculó la duración de las redes bajo características de variabilidad. Este proceso se realiza tantas veces como replicas son necesarias.
- f. Cálculo del porcentaje de discrepancia: Se calculan el porcentaje de variación para cada réplica de cada red.
- g. Análisis de resultados.

Por otro lado, para determinar el número de corridas a realizar en cada experimento, se utilizó la ecuación (11):

$$\phi^2 = \frac{nD^2}{2a\sigma^2} \quad (11)$$

Donde:

ϕ^2 = Parámetro de no centralidad σ

n = Tamaño de la muestra

D = Diferencia entre Valores

σ^2 = Varianza

a = Niveles

Para el desarrollo de esta ecuación, se determinó el valor de D, apartir de una prueba piloto de 5 corridas, donde se tomó el valor más alto y el más bajo de las variables respuesta. Una vez calculados los valores de ϕ fueron obtenidas las potencias a partir de las curvas de operación característica mostrada de la figura 25, con un valor de $(a-1)= 3$ con $a(n-1) = 4(n-1)$ grados de libertad del error y un $\alpha = 0.05$.

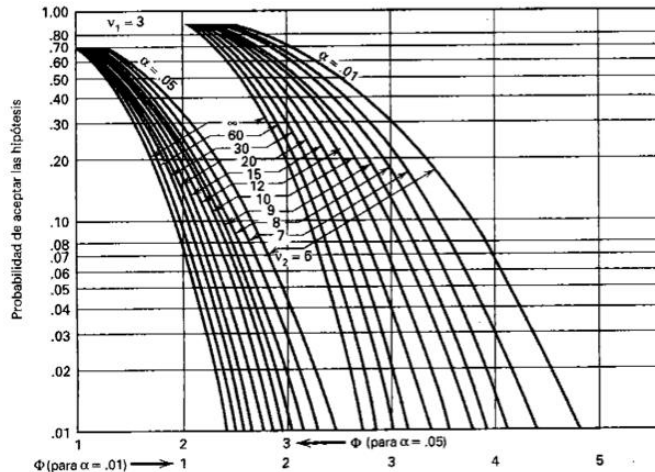


Figura 25. Curvas de operación características.

La tabla 11 muestra los valores encontrados para cada una de las iteraciones realizadas.

n	ϕ^2	ϕ	a(n-1)	beta	Potencia
3	1,9036	1,3797	8	0,6	0,4
4	2,5381	1,5931	12	0,5	0,5
5	3,1726	1,7812	16	0,2	0,8
6	3,8071	1,9512	20	0,15	0,85
7	4,4416	2,1075	24	0,1	0,9

Tabla 11. Valores de potencias calculados para cada n.

Para este estudio, se deseaba una potencia del 90% por lo cual se estableció que el número de réplicas requeridas era de 7.

9.4 METODOLOGÍA DE RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Para obtener estos resultados descriptivos se siguen 4 primeros los pasos de la metodología utilizada en los resultados inferenciales. Los pasos que complementan la metodología son los siguientes:

- a. Calcular orden de priorización de control de las actividades acuerdo a las características de la red, para las políticas MST, DTS, MRT, MVR, AMD y AMV.
- b. Calcular las actividades que hacen parte de la ruta crítica para la política ARC.
- c. Experimentación: con base en el modelo dinámico se calculó la duración con el orden de control establecido en las políticas de priorización.
- d. Cálculo de la política API, por medio de la iteración del control en diferentes actividades.
- e. Cálculo del porcentaje de discrepancia: Se calculan el porcentaje de discrepancia para cada política de priorización de cada red.
- f. Análisis de resultados.

10 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 RESULTADOS INFERENCIALES

En este apartado se analizan algunos estadísticos del experimento con el propósito de caracterizar el impacto de los factores periodo de control, demoras y estructura de la red sobre la duración del proyecto.

Lo primero que realizó fue la comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para el diseño de experimentos propuesto, encontrando que los datos obtenidos cumplen con los supuestos básicos (ver anexo 3).

Teniendo en cuenta que el modelo del diseño factorial que se plantea es:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde y_{ijkl} es el valor de la variable respuesta, explicada por la media general (μ) más la suma de los tres efectos principales (α , β y γ), las tres interacciones dobles ($\alpha\beta$, $\alpha\gamma$, $\beta\gamma$), la interacción triple ($\alpha\beta\gamma$) y el error aleatorio.

Los efectos principales se presentan a continuación (9):

Donde:		
$i = 1, 2, 3, 4$	Red	(9)
$j = 1, 2, 3, 4$	Periodo de control	
$k = 1, 2, 3, 4$	Demora	
$l = 1 \dots m$	Réplicas	

10.1.1 ANÁLISIS DE VARIANZA

Efectos principales

1. $H_0: \alpha_i = 0$ Ninguno de los niveles del factor α (Red) tiene efectos significativos sobre la variable respuesta (discrepancia en la duración del proyecto).

H_1 : Por lo menos uno de los niveles tiene efectos significativos.

2. $H_0: \beta_j = 0$ Ninguno de los niveles del factor β (Periodos de control) tiene efectos significativos sobre la variable respuesta (discrepancia en la duración del proyecto).

H_1 : Por lo menos uno de los niveles tiene efectos significativos.

3. $H_0: \gamma_k = 0$ Ninguno de los niveles del factor γ (Demora) tiene efectos significativos sobre la variable respuesta (discrepancia en la duración del proyecto).

H_1 : Por lo menos uno de los niveles tiene efectos significativos.

Efectos de las Interacciones dobles

1. $H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$ Ninguna de las interacciones $(\alpha\beta)$ tiene efectos significativos sobre la variable respuesta.

H_1 : por lo menos una de las interacciones tiene efectos significativos.

2. $H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0$ Ninguna de las interacciones $(\alpha\gamma)$ tiene efectos significativos sobre la variable respuesta.

H_1 : por lo menos una de las interacciones tiene efectos significativos.

3. $H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$ Ninguna de las interacciones $(\beta\gamma)$ tiene efectos significativos sobre la variable respuesta.

H_1 : por lo menos una de las interacciones tiene efectos significativos.

Efectos de las interacciones triples

4. $H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$ Ninguna de las interacciones $(\alpha\beta\gamma)$ tiene efectos significativos sobre la variable respuesta.

H_1 : por lo menos una de las interacciones tiene efectos significativos.

La tabla 12 presenta el Análisis de Varianza para este modelo.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Discrepancia

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	249345.306 ^a	63	3.957.862	469.045	.000
Intersección	10.694.351.127	1	10.694.351.127	1.267.385.580	.000
red	194.934.773	3	64.978.258	7.700.561	.000
PerControl	19.345.137	3	6.448.379	764.196	.000
Demora	31.546.971	3	10.515.657	1.246.209	.000
red *	554.538	9	61.615	7.302	.000
PerControl	991.935	9	110.215	13.062	.000
red * Demora	991.935	9	110.215	13.062	.000
PerControl *	1.769.813	9	196.646	23.304	.000
Demora	1.769.813	9	196.646	23.304	.000
red *	202.140	27	7.487	.887	.631
PerControl *	202.140	27	7.487	.887	.631
Demora	202.140	27	7.487	.887	.631
Error	3.240.238	384	8.438		
Total	10.946.936.671	448			
Total corregida	252.585.544	447			

a. R cuadrado = .987 (R cuadrado corregida = .985)

Tabla 12. Análisis de varianza

Conclusiones del Análisis de varianza

Efectos Principales

- Como el p-value del factor de red es menor al α utilizado ($0.00 < 0.05$) se rechaza H_0 , es decir que por lo menos uno de los niveles del factor red, tiene efectos significativos sobre la variación de la duración del proyecto.

- Como el p-value del factor Periodo de Control es menor al α utilizado ($0.00 < 0.05$) se rechaza H_0 , es decir que por lo menos uno de los niveles del factor periodo de control tiene efectos significativos sobre la variación de la duración del proyecto.
- Como el p-value del factor demora es menor al α utilizado ($0.00 < 0.05$) se rechaza H_0 , es decir que por lo menos uno de los niveles del factor demora tiene efecto significativos sobre la variación de la duración del proyecto.

Efectos de las Interacciones dobles

- Como el p-value de la interacción entre red y periodo de control es menor al α utilizado ($0.00 < 0.05$) se rechaza H_0 , es decir que la interacción tiene efecto significativo sobre la variable respuesta.
- Como el p-value de la interacción entre red y demora es menor al α utilizado ($0.00 < 0.05$) se rechaza H_0 , es decir que la interacción tiene efecto significativo sobre la variable respuesta.
- Como el p-value de la interacción entre periodo de control y demora es menor al α utilizado ($0.00 < 0.05$) se rechaza H_0 , es decir que la interacción tiene efecto significativo sobre la variable respuesta.

Efectos de las Interacciones triples

- Como el p-value de la interacción entre red, periodo de control y demora es mayor al α utilizado ($0,631 < 0.05$) no se rechaza H_0 , es decir que la interacción no tiene efecto significativo sobre la variable respuesta.

10.1.2 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS

A continuación, se muestra la evaluación del efecto de cada uno de los tratamientos, sobre la variable respuesta. Para lo cual se tiene en cuenta (12)

$$\alpha_i = \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...}$$

$$\beta_j = \bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...} \quad (12)$$

$$\gamma_k = \bar{y}_{..k} - \bar{y}_{...}$$

Donde $\bar{y}_{...} = \mu$ es la media global del experimentos y $\bar{y}_{i.}$, $\bar{y}_{.j.}$ y $\bar{y}_{..k}$ son las medias de cada uno de los tratamientos evaluados (red, periodo de control y demora).

Los efectos principales se muestran en la tabla 13.

Factor	No	Efecto
Red	1	15,327
	2	-7,430
	3	22,690
	4	-30,586
Periodo de control	0.5	-6,773
	1	-4,580
	3	1,126
	6	10,227
Demora	0.5	-11,211
	1	-3,688
	2	3,487
	3	11,412
Promedio general		154,503

Tabla 13. Efectos principales

Conclusiones de los efectos principales

- La red que más aumenta del promedio es la red 3 con un valor de 22,60%, mientras que la red que más disminuye el promedio es la red 4 con un valor de -30,586%. Lo cual evidencia que la diferencia estructural entre las redes seleccionadas afecta el valor de la discrepancia.
- El periodo de control que más afecta en la disminución de promedio es el de 0.5 UT, seguido de 1 UT con valores de -6.77% y -4,58%. Esto quiere decir que para lograr una disminución en la discrepancia el mejor periodo de control entre los evaluados en el estudio es el de 0.5 UT. Por otro lado, los periodos 3 y 6 UT impactan negativamente, aumentando la discrepancia en un 1,13% y un 10,23%, incrementando este último periodo de control un 17% en referencia al periodo de control 0.5 UT.
- La demora que más afecta la disminución del promedio es el de 0.5 UT con un valor de 11,21%, seguido del 1 UT, con un valor de 3,68%. Por otro lado se evidencia que a valores de demora 2 y 3 UT, el aumento de promedio global de la discrepancia es de 3,4% y 11,42%, aumentando este último al inicial en un 22%. Esto evidencia la importancia dentro de las organizaciones de comprometerse con disminuir el tiempo de respuesta entre la identificación de la discrepancia y la acción correctiva correspondiente.

Determinación de los efectos combinados de los tratamientos.

Asimismo se evaluó, como la interacción entre las variables red, periodo de control y demora, afectan el promedio global del experimento.

Interacción Red – Periodo de control

Red	Periodo de control				Total general
	0,5	1	3	6	
1	8,783	10,586	15,704	26,235	15,327
2	-16,896	-12,43	-4,354	3,958	-7,4305
3	17,012	18,458	23,592	31,696	22,6895
4	-35,993	-34,935	-30,438	-20,98	-30,5865
Total general	-6,7735	-4,58025	1,126	10,22725	-0,000125

Tabla 14. Interacción Red – Periodo de control

Como se muestra en la tabla 14, para todas las redes se evidencia que entre más pequeño es el periodo de control, el valor del promedio de discrepancia se disminuye para todas las redes. Sin embargo, se evidencia que la estructura de la red influencia la efectividad de estos periodos de control en la discrepancia.

Interacción Red – Demora

Red	Demora				Total general
	0,5	1	2	3	
1	3,871	11,715	19,213	26,510	15,327
2	-21,612	-12,107	-3,234	7,231	-7,430
3	12,189	19,254	25,786	33,530	22,690
4	-39,292	-33,612	-27,817	-21,625	-30,586
Total general	-11,211	-3,688	3,487	11,412	0,000

Tabla 15. Interacción Red – Demora

De manera similar, en la tabla 15 se observa que la estructura de la red afecta la manera como el valor del demora influye sobre la discrepancia, por lo cual, mientras en la red 1, los valores de demora aumentan el promedio de la discrepancia en una proporción de 3,87%, en la red 4, este mismo valor de demora, disminuye la discrepancia en una proporción de -39,292%. Asimismo, se puede observar que a valores de demora menores se disminuye la discrepancia en todas las redes.

Interacción Demora-Periodo de control

Demora	Periodo de control				Total general
	0,5	1	3	6	
0,5	-19,207	-18,977	-9,111	2,451	-11,211
1	-12,817	-4,030	-4,030	6,128	-3,688
2	-1,862	-2,021	5,041	12,789	3,487
3	6,792	6,707	12,605	19,543	11,412
Total general	-6,773	-4,580	1,126	10,227	0,000

Tabla 16. Interacción Demora – Periodo de control

Por otro lado, se puede observar en la tabla 16 que la mejor combinación entre demora y periodo de control es la de 0,5 - 0,5 UT, la cual tiene una disminución sobre la media de la discrepancia global de 19,207%, seguida de la combinación demora 0,5 y periodo de control 1, la cual tiene una disminución sobre la media de la discrepancia de 18,977% y en tercer lugar la combinación de demora 1, periodo de control 0,5, la cual tiene una disminución de 12,8% sobre el valor de la discrepancia global. Esto demuestra que antes de un periodo de control pequeño, es más importante tener un demora o tiempo de respuesta menor.

Adicionalmente, se realizó la comparación múltiple de las variables utilizando intervalos de confianza del 95%, para analizar si en la combinación de algunas variables, existen intersecciones entre los intervalos de confianza.

A continuación se muestran los intervalos de confianza de las comparaciones múltiples entre red-periodo de control, red-demora y periodo de control-demora.

Red * Periodo de Control

Variable dependiente: Discrepancia

red	PerControl	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1.00	Per 1	165.089	.549	164.010	166.168
	Per 3	170.207	.549	169.128	171.286
	Per 6	180.739	.549	179.659	181.818
	Per 0.5	163.287	.549	162.208	164.366
2.00	Per r1	142.073	.549	140.994	143.153
	Per 3	150.149	.549	149.070	151.229
	Per 6	158.462	.549	157.383	159.541
	Per 0.5	137.608	.549	136.528	138.687

3.00	Per 1	172.962	.549	171.883	174.041
	Per 3	178.096	.549	177.017	179.175
	Per 6	186.199	.549	185.120	187.279
	Per 0.5	171.516	.549	170.437	172.595
4.00	Per 1	119.568	.549	118.489	120.648
	Per 3	124.066	.549	122.986	125.145
	Per 6	133.524	.549	132.444	134.603
	Per 0.5	118.510	.549	117.431	119.590

Tabla 17. Intervalos de confianza la combinación red y periodo de control

En la tabla 17 se evidencia que en las redes 1, 3 y 4 no existe diferencia significativa entre controlar en periodos de control de 0.5 y 1 UT, con lo cual demuestra que no siempre es necesario controlar a periodos de control muy pequeños para tener un buen resultado, con lo que es posible además tener ahorros en términos de costos de control.

5. Red * Demora

Variable dependiente: Discrepancia

red	Demora	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1.00	D 1	166.218	.549	165.139	167.297
	D2	173.716	.549	172.637	174.796
	D3	181.013	.549	179.934	182.093
	D 0.5	158.374	.549	157.295	159.453
2.00	D 1	142.397	.549	141.317	143.476
	D2	151.269	.549	150.190	152.349
	D3	161.735	.549	160.655	162.814
	D 0.5	132.891	.549	131.812	133.971
3.00	D 1	173.758	.549	172.678	174.837
	D2	180.289	.549	179.210	181.369
	D3	188.034	.549	186.954	189.113
	D 0.5	166.693	.549	165.613	167.772
4.00	D 1	120.891	.549	119.812	121.971
	D2	126.687	.549	125.607	127.766
	D3	132.879	.549	131.799	133.958
	D 0.5	115.212	.549	114.132	116.291

Tabla 18. Intervalos de confianza la combinación red y demora

Por otro lado, en la tabla 18 se evidencia que existen diferencias significativas entre las diferentes demoras para cada una de las redes evaluadas, lo cual demuestra que cada unidad en el tiempo de respuesta (demora), afecta directamente en la discrepancia.

6. Periodo de Control * Demora

Variable dependiente: Discrepancia

PerControl	Demora	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Per 1	D 1	150.473	.549	149.394	151.552
	D2	152.483	.549	151.404	153.562
	D3	161.211	.549	160.131	162.290
	D 0.5	135.526	.549	134.447	136.606
Per 3	D 1	150.473	.549	149.394	151.552
	D2	159.545	.549	158.465	160.624
	D3	167.108	.549	166.029	168.187
	D 0.5	145.393	.549	144.313	146.472
Per 6	D 1	160.631	.549	159.552	161.710
	D2	167.292	.549	166.213	168.371
	D3	174.046	.549	172.967	175.125
	D 0.5	156.954	.549	155.875	158.034
Per 0.5	D 1	141.687	.549	140.607	142.766
	D2	152.642	.549	151.563	153.721
	D3	161.296	.549	160.216	162.375
	D 0.5	135.296	.549	134.217	136.376

Tabla 19. Intervalos de confianza la combinación demora y periodo de control

Por otro lado, en la tabla 19 se observa que para el periodo de control 1, no existe diferencia significativa entre el demora 1 y 2, por lo que es posible tener un margen de holgura mayor para la ejecución de la política de control si se esta controlando en este periodo.

10.1.3 SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS

Adicionalmente, se calcularon los subconjuntos homogéneos, utilizando la prueba de Tukey, para verificar si existe similitud entre cada uno de los factores evaluados. Las tablas de subconjuntos se muestran a continuación.

Subconjuntos homogéneos

Discrepancia

DHS de Tukey^{a,b}

red	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
4.00	112	123.9170			
2.00	112		147.0731		
1.00	112			169.8305	
3.00	112				177.1933
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 8.438.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 112.000

b. Alfa = .05.

Tabla 20. Subconjuntos homogéneos para las redes.

En la tabla 20 se observa que no existe homogeneidad entre las redes evaluadas, así éstas contengan el mismo número de actividades, nivel de complejidad y recursos asignados. Esto habla del carácter único de los proyectos el cual viene dado por su estructura.

Subconjuntos homogéneos

Discrepancia

DHS de Tukey^{a,b}

PerControl	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Per 0.5	112	147.7302			
Per 1	112		149.9232		
Per 3	112			155.6295	
Per 6	112				164.7309
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 21. Subconjuntos homogéneos para los periodos de control

Subconjuntos homogéneos

Discrepancia

DHS de Tukey^{a,b}

Demora a	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
D0.5	112	143.2924			
D1	112		150.8159		
D2	112			157.9904	
D3	112				165.9151
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 22. Subconjuntos homogéneos para los demora.

De manera similar, se observa que no existe homogeneidad entre los periodos de control ni los en los demora evaluados, al no mostrarse subconjuntos homogéneos en las tablas 21 y 22.

10.2 RESULTADOS DESCRIPTIVOS

10.2.1 POLÍTICAS DE PRIORIZACIÓN

Cada una de las políticas de priorización fue evaluada en cada una de las redes utilizadas en este estudio. Los resultados de esta priorización se pueden ver en el anexo 4.

Para evaluar la efectividad de las políticas de priorización propuestas, se estableció un método de ranking en donde se le asignó valores de 3, 2, 1 y 0 como calificación dependiendo de la duración de la actividad evaluada, siendo 3 el mejor valor. Se le asignó un valor de 3 a la política de menor valor de discrepancia, 2 a la siguiente de menor valor y así sucesivamente hasta llegar a 0. Se permitieron los empates en esta calificación y se realizó la evaluación al controlar las actividades número 1, 3, 5 y 7 sucesivamente.

A continuación se muestra la tabla de resultados de este análisis.

Red	Act. evaluada	ARC	MST	DTS	MRT	MVS	AMD	AMV	API
Red 1	1	2	2	2	2	2	3	1	3
	3	0	1	1	1	1	2	2	3
	5	0	1	1	1	1	2	2	3
	7	0	0	0	0	0	1	2	3
	9	0	0	0	0	0	2	1	3
Red 2	1	2	3	2	3	3	2	2	3
	3	0	2	2	2	2	0	1	3
	5	0	1	1	1	1	0	2	3

	7	1	1	1	1	1	0	2	3
	9	0	0	0	0	0	1	2	3
Red 3	1	2	2	2	2	2	1	1	3
	3	0	1	1	1	1	2	2	3
	5	1	0	0	0	0	2	0	3
	7	1	0	0	0	0	2	0	3
	9	0	0	0	0	0	2	1	3
Red 4	1	2	2	2	2	2	2	2	3
	3	0	0	0	0	0	1	2	3
	5	0	0	0	0	0	1	2	3
	7	0	0	0	0	0	1	2	3
	9	0	0	0	0	0	1	2	3
Suma		11	16	15	16	16	28	31	60

Tabla 23. Valores de ponderación para las reglas de priorización

La tabla 23 muestra los resultados de la clasificación donde se observa que la mejor regla de priorización es la obtenida por el método API con un valor de 60 puntos, seguida por las reglas AMV con 31 puntos y finalmente AMD con 28 puntos.

Este resultado muestra, la ventaja que tiene utilizar un sistema de simulación para hallar las actividades a controlar. Asimismo, se observó que las reglas de priorización AMV y AMD, son adecuadas para seleccionar las actividades a controlar cuando no se cuenta con esta herramienta, siendo la política AMV la mejor de las dos.

Cabe anotar que para obtener la priorización AMV, es necesario contar con un histórico de la variabilidad ocasionada por los recursos en las actividades, por lo cual, recoger esta información de los proyectos ejecutados, se convierte en una práctica recomendable para mejorar la selección de puntos de control en proyectos.

10.2.2 COSTOS

Para la evaluación de costos en un proyecto en el estudio, se tuvieron en cuenta los costos asociados al control y al retraso. Para visualizar su comportamiento, se construyó un perfil, en el cual se iba validando estos valores a medida que aumentaba el periodo de control. Cabe anotar que para la construcción de estos perfiles, se utilizó un valor de demora igual a 0.5 UT.

Las graficas de red 1, para cada una de las relaciones se muestran a continuación:

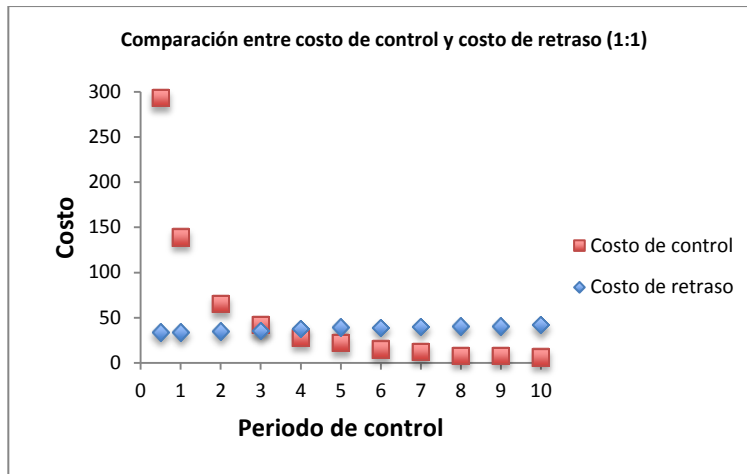


Figura 26. Comportamiento del costo del control y costo del retraso con una relación (1:1) para la red 1

En la Figura 26 se observa que el costo del control y el costo de retraso tiene una relación inversamente proporcional. La intersección de las curvas muestra donde estas dos variables toman valores iguales, es decir en ese periodo de control cuesta lo mismo controlar, que la penalización del retraso. Para el caso de este estudio, para una relación de costo 1:1, este equilibrio se encuentra en el periodo de control de 3 UT.

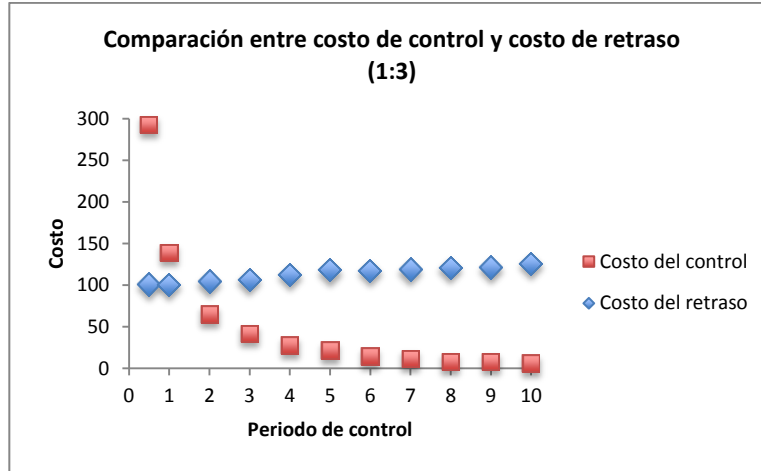


Figura 27. Comportamiento del costo del control y costo del retraso con una relación (1:3) para la red 1

Por otro lado, si incrementamos el costo del retraso a una relación de 1:3, este punto se desplaza a la izquierda llegando al equilibrio en un periodo de control de 1.5 UT, como se muestra en la figura 27.

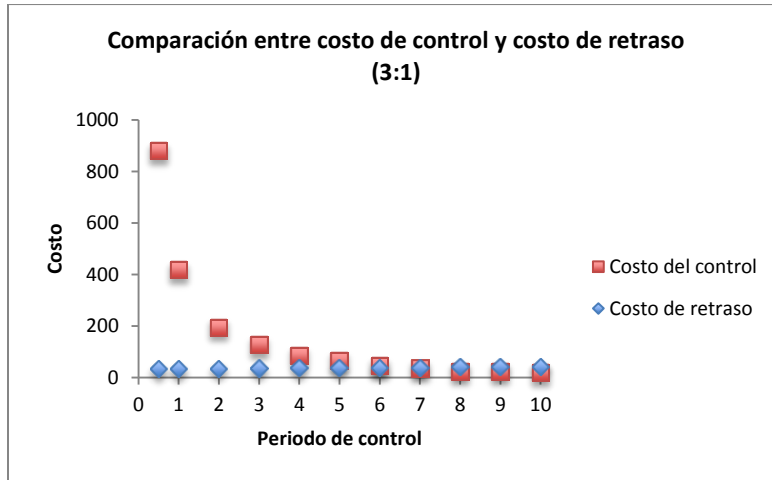


Figura 28. Comportamiento del costo del control y costo del retraso con una relación (3:1) para la red 1

Por otra parte, si esta relación se invierte a 3:1, este punto se desplaza a la derecha llegando al equilibrio en un periodo de control de 6 UT como se muestra en la figura 28.

Este comportamiento encontrado en la red 1, es el mismo para todas redes, en todas las relaciones estudiadas (ver anexo 5).

Sin embargo, como el tiempo de finalización planeado es diferente para todas las redes, se realizó una proporción entre el periodo de control y el fin planeado de cada red.

Red	Relación Costos		
	1:1	1:3	3:1
1	13,7	6,8	27,4
2	16,7	8,4	33,5
3	13,0	6,5	26,0
4	11,1	5,5	22,0

Tabla 24. Porcentaje de ejecución de los proyectos en los que se igualan los costos de control y de retraso.

La tabla 24 muestra que si se desea encontrar el periodo de control en donde la relación entre el costo de control y el costo de retraso sea 1:1, se deberá controlar el proyecto en un periodo entre el 11,1% y 16,7% del tiempo planeado; para una relación de 1:3, se deberá controlar en un periodo entre el 5,5% y el 8,4% del tiempo planeado; para una relación de 3:1, se deberá controlar el proyecto entre el 22% y el 33,5% del tiempo planeado.

11 MÉTODO DE CONTROL PROPUESTO EN ESTA INVESTIGACIÓN

Una vez analizados los resultados tanto inferenciales como descriptivos obtenidos en este estudio se llegaron a las siguientes conclusiones que ayudan a plantear el método propuesto en este estudio:

- Lo primero que debe tener en cuenta las organizaciones para realizar una planeación y ejecución de control en proyectos, es su tiempo de respuesta una vez identificada la discrepancia para ejecutar la política de control, pues se comprobó que es el factor más importante ya que si éste se excede, el control deja de tener validez.
- Asimismo, es importante que las organizaciones identifiquen entre el costo de control y el costo de retraso, que tiene mayor impacto dependiendo el tipo de proyecto y con base a esto decidan cual debe ser el periodo de control más oportuno.
- También se evidenció que tener el histórico de la variabilidad de los recursos puede ayudar a planificar mejor los controles, pues se puede concentrar los esfuerzos en el control en los recursos y en buscar el origen de los mismos y tomar acciones preventivas que ayuden a mitigar estos riesgos.
- Asimismo, se comprobó realizar simulación de los proyecto con dinámica de sistemas utilizando la herramienta Vensim, contribuye a planear de manera eficiente el control.
- Sin embargo, existen un método alternativo, sencillo y efectivo para realizar esta planeación, que se centra en controlar las actividades de mayor duración.
- Finalmente, es indispensable aterrizar lo encontrado en la planeación con la disponibilidad presupuestal para lo cual se propone en dado caso que sea necesario recortar actividades, seguir los órdenes de priorización encontrados en cada política.

De acuerdo con lo anterior se propone el siguiente método de control para proyectos:

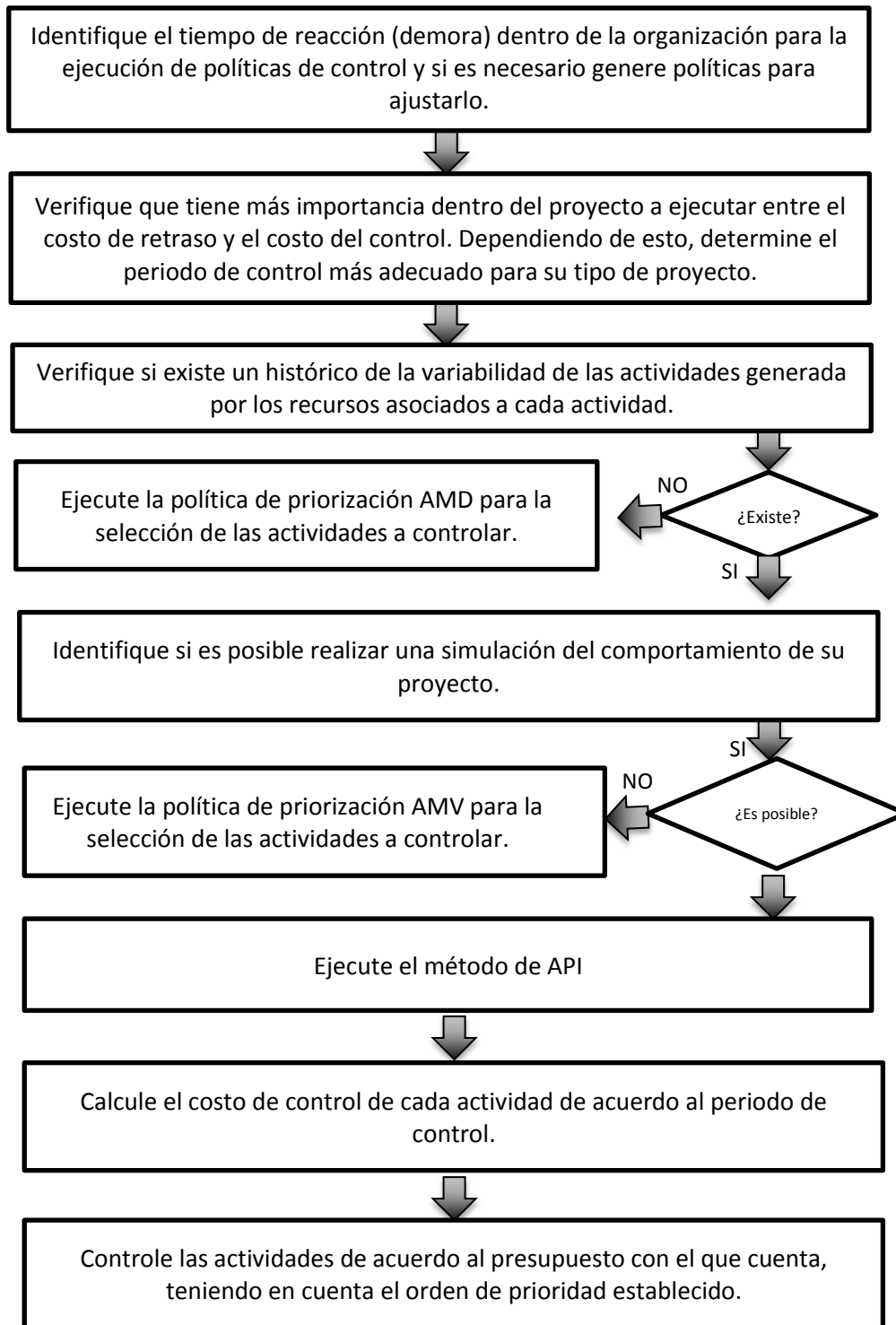


Figura 28. Método de control propuesto para proyectos

Aplicación del método

Este método fue aplicado a las cuatro redes de este estudio y los resultados se pueden observar en el anexo 6. La tabla 22 muestra los resultados de la red 4, para cada uno de los órdenes de priorización propuestos en el método.

Red 4											
ARC			AMD			AMV			API		
ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$
2	176,3888889	10	19	176,389	25	11	176,389	31	12	162,7314815	26
3	176,3888889	21	8	176,389	40	17	150,463	70	11	159,7222222	57
8	176,3888889	36	12	159,722	66	9	150,463	95	19	159,7222222	82
11	176,3888889	67	16	159,722	85	12	141,898	121	17	142,1296296	121
16	176,3888889	86	9	159,722	110	16	135,88	140	4	125,462963	142
19	176,3888889	111	15	159,722	122	4	131,25	161	16	121,5277778	161
			11	159,722	153	19	121,528	186	8	121,5277778	176
			17	135,88	192	21	115,509	203	21	112,7314815	193
			4	121,528	213	3	112,731	214	3	112,7314815	204
			18	121,528	221	18	112,731	222	6	111,8055556	209
			7	121,528	227	2	112,731	232	9	111,5740741	234
			2	121,528	237	14	112,731	239	13	111,5740741	245
			3	121,528	248	10	112,731	246	14	111,5740741	252
			21	112,731	265	7	112,731	252			
			13	112,731	276	8	112,731	267			
			20	112,731	287	13	112,731	278			
			10	112,731	294	20	112,731	289			
			14	112,731	301	6	111,574	294			
			5	112,731	305	5	111,574	298			
			6	111,574	310	15	111,574	310			

Tabla 25. Valores de costo y discrepancia de halladas para la red 4, con las diferentes políticas de priorización.

En la tabla 25 se puede observar que para esta red, el control de las actividades de la ruta crítica ARC no aporta nada en la disminución de la discrepancia del no control, la cual se encuentra en 176, 38% y se invertiría 111 unidades monetarias (UM) en su control sin ningún aporte.

Para el método utilizando API, el cual termina en el control de la actividad 9 según el método, presenta una discrepancia final igual al control total, con un total de 11 actividades controladas y un costo de control de 234 UM.

Para el método utilizando AMV, termina con el control de la actividad 6, donde se han controlado 18 actividades para llegar al control total, con un costo de 294 UM. Asimismo, para el método utilizando AMD, termina en el control de la actividad 6 donde se han controlado 20 actividades para el control total, con un costo de 310 UM.

Si se contara sólo con 145 UM para realizar el control de esta red, con el método API, se controlarían 5 actividades y se llegaría a una discrepancia de 125,5%, sobrando 3 UM. Para el método AMV, se controlarían 5 actividades y se llegaría a una discrepancia de 135% sobrando 5 UM. Finalmente, con la ruta AMD se controlarían 6 actividades, 159,7% y sobrarían 23 UM.

12 CONCLUSIONES

En este estudio se pudo determinar que la efectividad del proceso control de proyectos esta determinada por la interacción de tres grandes factores: En primer lugar, un factor administrativo que viene dado por la capacidad de reacción del control, evaluado en este estudio mediante las demoras, en segundo lugar, la localización de los puntos de control a lo largo de la estructura del proyecto y en tercer lugar, la política de control utilizada. Este proyecto tuvo dentro de su alcance los dos primeros puntos, teniendo mayor énfasis en el segundo. Estos factores no habían sido evidenciados con suficiencia en la literatura.

Asimismo, se pudo demostrar que la localización de los puntos de control sobre la estructura del proyecto tiene una influencia directa, sobre la efectividad del control mismo, teniendo como consecuencia que una inadecuada forma de ubicación de los puntos de control no generará el impacto deseado. Por lo anterior, este estudio propone un método de decisión de tipo táctico.

De la misma manera, se pudo evidenciar que el carácter único de los proyectos viene dado por su estructura, por lo cual, así se construyan redes con características similares, los resultados sobre el valor de la discrepancia pueden variar dependiendo de la configuración de la red. Dado lo anterior, es recomendable que las organizaciones gestoras de proyectos, de ser posible, conserven la estructura del sistema para disminuir la variabilidad de la discrepancia con la estructura de controles establecidos.

Por otro lado, se encontró que la interacción entre periodo de control y el tiempo de respuesta (demora) tiene un efecto significativo sobre la media de la discrepancia evaluada, encontrando que la mejor combinación se presentó cuando ambos factores tomaron los valores mínimos evaluados.

Sin embargo, se evidenció que las demoras de información-acción en los puntos de control tienen una mayor influencia sobre la discrepancia que el periodo de control. Por lo cual, es más importante ejecutar de una manera rápida la política de control una vez identificada la discrepancia, que el periodo con el que se realice esta medición para la ejecución de dicho control. En efecto, cualquier periodo de control y localización de puntos de control tendrán una influencia nula si no se tiene una capacidad de reacción rápida.

Por consiguiente, es recomendable que los proyectos generen la capacidad de autoevaluarse y autorregularse, y contar con herramientas que le permitan contrarrestar la discrepancia encontrada. Una de las estrategias que se puede aplicar para tal fin es disponer de independencia presupuestal que le permita ejecutar las políticas de control sin gestiones administrativas innecesarias.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que los costos de control están determinados por el periodo de control, el número de actividades controladas y la duración de cada actividad, en este estudio se evidenció que controlar todas las actividades no es eficiente con el uso de recursos, puesto que hay actividades que al ser controladas no generan impacto sobre la reducción de la discrepancia.

Al mismo tiempo, se comprobó que el método de la Ruta crítica (CPM) ampliamente utilizado para realizar controles dentro de proyectos, no es el más adecuado para realizar una priorización de actividades a controlar en proyectos, al no tener en cuenta factores importantes para el análisis como lo son la variabilidad dada por los recursos vinculados a dichas actividades, y la variabilidad causada por factores externos y al dejar por fuera otras actividades que pueden ser importantes para el control por su duración.

Dado lo anterior, se puede concluir que usar CPM como única herramienta para seleccionar los puntos de control, puede ocasionar pérdidas de tiempo y de dinero invertidos en este proceso, pues la utilización de este método no garantiza que exista una disminución en la discrepancia entre la ejecución real y planeada.

Finalmente, se puede concluir que la mejor política de priorización en el control de actividades es la obtenida por el método de simulación API, seguida por la política AMV que supone la existencia de un histórico de la variabilidad de los recursos asignados, y como tercera opción la política AMD, la cual es de fácil aplicación al no requerir elementos adicionales a la estructura del proyecto. Por lo cual, el método propuesto en este trabajo puede ayudar a las organizaciones o a cualquier director de proyectos a mejorar la forma en la que seleccionen sus puntos de control sin importar de las herramientas con las que dispongan.

13 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda extender esta investigación incluyendo los siguientes aspectos:

- Evaluar diferentes políticas de control y el costo de ejecutarlas, para tener una estimación más real de este valor. Asimismo, evaluar el efecto de estas políticas sobre la localización de los puntos de control.
- Comparar de redes con diferentes números de actividades, un número diferente de complejidad para tener un espectro de evaluación más amplio.
- Generar de métodos que permitan medir la variabilidad de los recursos, para que las empresas puedan contar con un histórico que les permita aplicar el método propuesto.
- Identificar las causas de las demoras de acción una vez identificadas las discrepancias en los proyectos.
- Explorar y generar mecanismos de autorregulación y estructuras financieras que permitan disminuir generar una mayor efectividad en el control de los proyectos.

14 BIBLIOGRAFÍA

Abbasi, G., Arabiat, Y. (2001). A heuristic to maximize the net present value for resource-constrained project scheduling problems. *Project Management Journal*. Vol 32. 17–24.

Aracil, J. (1992). *Introducción a la dinámica de sistemas*. España. Alianza Editorial.
Association for Project Management. (2000). *Project Management Body of Knowledge, APMBoK*. UK: Association for Project Management.

Avison, D., Baskerville, R. y Myers, M. (2001). Controlling research projects. *Information Technology and People*. 14. 28–45.

Choi, K. S., Bae, D. H. (2009). Dynamic project performance estimation by combining static estimation models with system dynamics. *Information and Software Technology*. 51. 162–172.

De Falco, M., Macchiaroli, R. (1998). Timing of control activities in project planning. *International Journal of Project Management*. 16. 51–58.

Dey, P. K. (2000). Managing project in a fast track: A casestudy of a public sector organization in India. *International Journal of Public Sector Management*. 137. 588–609.

Dvir, D., Raz, T., Shenhar, A. J. (2003). An empirical analysis of the relationship between project planning and project success. *Abstract International Journal of Project Management*. 21. 89–95.

Elmaghraby, S. Kamburowski. J. (1992). The analysis of activity networks under generalized precedence relations (GPRs). *Management science*. 38. 1245-1263.

Forrester, J. (1981). *Jay Wright, Dinámica Industrial*. Editorial El Ateneo.

Globerson, S., Zwikael, O. (2002). The impact of the project manager on project management planning processes. *Project Management Journal*. 33. 58–65.

González, L., Kalenatic, D., López C., (2007). *Metodología integral y dinámica aplicada a la programación de proyectos*. Working paper.

González, L., Kalenatic, D., Moreno, K. (2012). *Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos*. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia*. 62. 21-32.

Gray, C., Larson, E.W. (2000). *Project Management: The Managerial Process*. McGraw-Hill.

Hartmann, S. (1999). Project Scheduling under Limited Resources. Models, methods and applications. Alemania: Springer.

Kalenatic, D. (2001). Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras. Ed. Instituto de estudios e investigaciones educativas, Centro de investigación y desarrollo científico, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". 1. 166.

Klein, R. (1999). Scheduling of Resource Constrained Projects, Kluwer Academic Publishers. 74-109

Kolisch, R., Padman, R. (2001). An Integrated survey of deterministic project scheduling. 29. 249-272.

Madadi, M., Iranmanesh, H. (2012). A management oriented approach to reduce a project duration and its risk (variability). European Journal of Operational Research 219. 751–761.

Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. México: Editorial Limusa.

Moreno, K. V, González, L. J. (2012). Control dinámico de proyectos con priorización de actividades. Artículo en evaluación. 1-6.

Project Management Institute. (2004). A guide to the project management body of knowledge. USA: Project Management Institute.

Raz, T., Erdal. E. 2000. Optimal timing of project control points. European Journal of Operational Research. 127. 252-261.

Rozenes, S., Vitner, G., Spraggett, S. (2004). Multidimensional Project Control System. Project Management Journal. 22.109-118.

Rozenes, S., Vitner, G., Spraggett, S. (2006). Project Control: Literature Review. Project Management Journal. 37. 5-14.

Rueda, F. (2009). Medición y caracterización del impacto de la variabilidad en recursos renovables en la duración de un proyecto basado en dinámica de sistemas. Tesis de Maestría no publicada, facultad de ingeniería, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá Colombia.

Rueda, F., González, L., Kalenatic, D., Lopez C. (2012). Control dinámico de proyectos. Un modelo basado en recursos renovables. IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. 1-6.

Rueda F. J., González L. J., Moreno K. V. (2012). Análisis del intercambio entre costo de retraso y control periódico en proyectos bajo condiciones de incertidumbre por medio de dinámica de sistemas. X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. 1-7.

Rozenes, S., Vitner, G., Spraggett, S. (2004). Multidimensional Project Control System. Project Management Journal. 22.109-118

Slowinski, R., Soniewicki, B., Weglarz J. (1994). DSS for multiobjective project scheduling. European Journal Of Operational Research. 79. 220-229.

Vanhoucke, M. (2012). Measuring the efficiency of project control using fictitious and empirical project data International Journal of Project Management. 30. 252–263.

Westland, J. (2006). The Project Management Life Cycle: A Complete Step-by-Step Methodology for Initiating, Planning, Executing and Closing a Project Successfully, Kogan Page Business Books. 3-15.

Williams, T. (2003). Assessing Extension of time demoras on major projects. International Journal of Project Management. 21. 19–26.

15 ANEXOS

Anexo 1. Estructura de las redes

Red 1						Red 2						Red 3						Red 4									
Act.	Dur	# Rec	# Sus	sucesores		Act.	Dur	# Rec	# Sus	sucesores		Act.	Dur	# Rec	# Sus	sucesores		Act.	Dur	# Rec	# Sus	sucesores					
1	0	0	3	2	3	4	1	0	0	3	2	3	4	1	0	0	3	2	3	4	1	0	0	3	2	3	4
2	1	5	3	5	7	13	2	1	5	2	8	15	2	7	2	2	9	16	2	2	4	3	7	8	21		
3	7	5	2	6	14	3	3	4	3	6	8	10	3	1	4	3	5	6	10	3	2	4	3	6	8	15	
4	7	4	3	5	6	17	4	3	2	3	5	12	14	4	4	4	3	12	14	17	4	3	5	3	5	6	18
5	2	2	2	11	18	5	1	4	3	7	10	11	5	3	4	3	7	18	20	5	1	3	1	10			
6	3	3	1	12		6	2	4	2	9	16		6	4	4	2	8	14		6	1	3	2	9	12		
7	3	2	3	8	9	10	7	5	3	1	18		7	1	3	2	13	17		7	3	2	3	10	11	13	
8	2	3	1	15		8	2	1	2	12	16		8	5	3	3	12	13	21	8	7	1	1	11			
9	6	3	1	16		9	2	4	2	13	14		9	1	3	1	11			9	6	3	2	13	21		
10	7	4	3	11	15	16	10	3	2	2	18	20		10	2	3	3	12	14	18	10	2	3	2	14	15	
11	2	3	2	12	21		11	4	3	1	13		11	2	3	3	13	15	17	11	4	5	3	3	14	16	18
12	1	4	2	19	20		12	7	3	1	19		12	1	3	1	16			12	7	3	3	13	16	17	
13	2	3	2	16	20		13	3	3	2	15	17		13	6	5	1	19			13	2	4	1	14		
14	2	4	3	15	17	20	14	1	2	2	15	17		14	1	2	1	19			14	2	2	2	19	20	
15	3	4	2	19	21		15	1	5	3	19	20	21	15	1	3	2	18	20		15	6	1	1	20		
16	2	2	2	17	21		16	2	4	2	18	21		16	5	3	1	20			16	6	2	1	19		
17	5	4	1	18		17	3	2	2	20	21		17	4	1	1	21			17	4	5	2	20	21		
18	2	4	1	19		18	1	2	1	19		18	1	2	2	19	21			18	3	3	1	19			
19	1	3	1	22		19	2	5	1	22		19	5	4	1	22				19	7	3	1	22			
20	1	2	1	22		20	1	4	1	22		20	6	5	1	22				20	2	4	1	22			
21	2	1	1	22		21	3	3	1	22		21	5	4	1	22				21	2	5	1	22			
22	0	0	0			22	0	0	0			22	0	0	0					22	0	0	0				

Anexo 2. Datos diseño de experimentos de la Red 1

	D1				D2				D3				D4				
PC1	Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,813		Tiempo sin control		72,813		Tiempo sin control		72,813		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	21,938	55,688	153,846	1	21,938	57,375	161,538	1	21,938	60,053	173,744	1	21,938	61,875	182,051	
	2	21,938	54,625	149,003	2	21,938	55,938	154,986	2	21,938	58,563	166,952	2	21,938	60,938	177,778	
	3	21,938	54,438	148,148	3	21,938	56,125	155,840	3	21,938	59,000	168,946	3	21,938	60,875	177,493	
	4	21,938	54,688	149,288	4	21,938	56,063	155,556	4	21,938	57,938	164,103	4	21,938	59,563	171,510	
	5	21,938	54,625	149,003	5	21,938	56,063	155,556	5	21,938	58,750	167,806	5	21,938	60,500	175,783	
	6	21,938	55,250	151,852	6	21,938	56,750	158,689	6	21,938	59,438	170,940	6	21,938	61,125	178,632	
7	21,938	54,375	147,863	7	21,938	56,688	158,405	7	21,938	59,188	169,801	7	21,938	60,750	176,923		
Prom		54,813		149,858		Prom		56,429		157,224		Prom		58,990		168,899	
Desv Est		0,479		2,182		Desv Est		0,527		2,403		Desv Est		0,673		3,067	
PC2	Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	21,938	55,563	153,276	1	21,938	57,188	160,684	1	21,938	60,063	173,789	1	21,938	61,813	181,766	
	2	21,938	54,625	149,003	2	21,938	56,063	155,556	2	21,938	58,625	167,236	2	21,938	61,000	178,063	
	3	21,938	54,438	148,148	3	21,938	56,063	155,556	3	21,938	58,625	167,236	3	21,938	60,750	176,923	
	4	21,938	54,750	149,573	4	21,938	56,063	155,556	4	21,938	57,875	163,818	4	21,938	59,563	171,510	
	5	21,938	54,688	149,288	5	21,938	55,938	154,986	5	21,938	58,813	168,091	5	21,938	60,500	175,783	
	6	21,938	55,313	152,137	6	21,938	56,813	158,974	6	21,938	59,000	168,946	6	21,938	60,938	177,778	
7	21,938	54,563	148,718	7	21,938	56,750	158,689	7	21,938	59,188	169,801	7	21,938	60,750	176,923		
Prom		54,848		150,020		Prom		56,411		157,143		Prom		58,884		168,417	
Desv Est		0,421		1,917		Desv Est		0,495		2,254		Desv Est		0,665		3,030	

		D1				D2				D3				D4			
PC3	Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	21,938	57,438	161,823	1	21,938	59,250	170,085	1	21,938	61,438	180,057	1	21,938	63,063	187,464	
	2	21,938	56,500	157,550	2	21,938	57,873	163,806	2	21,938	60,250	174,644	2	21,938	61,625	180,912	
	3	21,938	56,875	159,259	3	21,938	58,125	164,957	3	21,938	60,250	174,644	3	21,938	61,625	180,912	
	4	21,938	56,250	156,410	4	21,938	57,000	159,829	4	21,938	59,313	170,370	4	21,938	60,625	176,353	
	5	21,938	56,375	156,980	5	21,938	57,938	164,103	5	21,938	59,938	173,219	5	21,938	62,125	183,191	
	6	21,938	57,500	162,108	6	21,938	58,750	167,806	6	21,938	60,563	176,068	6	21,938	62,250	183,761	
7	21,938	56,750	158,689	7	21,938	57,938	164,103	7	21,938	60,313	174,929	7	21,938	61,813	181,766		
Prom		56,813		158,974		Prom		58,125		164,956		Prom		61,875		182,051	
Desv Est		0,496		2,261		Desv Est		0,714		3,253		Desv Est		0,642		2,927	
PC4	Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		Tiempo sin control		72,8125		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	21,938	61,125	178,632	1	21,938	61,750	181,481	1	21,938	62,875	186,610	1	21,938	63,875	191,168	
	2	21,938	60,250	174,644	2	21,938	60,813	177,208	2	21,938	61,813	181,766	2	21,938	62,625	185,470	
	3	21,938	60,438	175,499	3	21,938	60,813	177,208	3	21,938	61,625	180,912	3	21,938	62,938	186,895	
	4	21,938	59,063	169,231	4	21,938	59,750	172,365	4	21,938	60,750	176,923	4	21,938	62,000	182,621	
	5	21,938	60,313	174,929	5	21,938	60,938	177,778	5	21,938	62,625	185,470	5	21,938	63,438	189,174	
	6	21,938	60,563	176,068	6	21,938	61,688	181,197	6	21,938	62,625	185,470	6	21,938	63,938	191,453	
7	21,938	60,000	173,504	7	21,938	60,750	176,923	7	21,938	61,813	181,766	7	21,938	63,250	188,319		
Prom		60,250		174,644		Prom		60,929		177,737		Prom		62,018		182,702	
Desv Est		0,629		2,868		Desv Est		0,671		3,057		Desv Est		0,744		3,390	

Anexo 2. Datos diseño de experimentos de la Red 2

	D1				D2				D3				D4				
PC 1	Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	17,938	40,500	125,784	1	17,938	41,375	130,662	1	17,938	44,125	145,993	1	17,938	45,938	156,098	
	2	17,938	39,698	121,310	2	17,938	41,313	130,314	2	17,938	42,813	138,676	2	17,938	45,063	151,220	
	3	17,938	39,938	122,648	3	17,938	41,688	132,404	3	17,938	44,188	146,341	3	17,938	46,313	158,188	
	4	17,938	39,938	122,648	4	17,938	41,563	131,707	4	17,938	44,063	145,645	4	17,938	46,188	157,491	
	5	17,938	40,250	124,390	5	17,938	41,250	129,965	5	17,938	43,813	144,251	5	17,938	45,813	155,401	
	6	17,938	39,688	121,254	6	17,938	40,875	127,875	6	17,938	43,500	142,509	6	17,938	45,500	153,659	
7	17,938	39,250	118,815	7	17,938	40,375	125,087	7	17,938	43,000	139,721	7	17,938	45,375	152,962		
Prom		39,894		122,407		Prom		41,205		129,716		Prom		43,643		143,305	
Desv Est		0,407		2,269		Desv Est		0,447		2,494		Desv Est		0,556		3,102	
PC 2	Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	17,9375	40,750	127,178	1	17,9375	41,5625	131,707	1	17,938	44,125	145,993	1	17,938	46,125	157,143	
	2	17,9375	39,938	122,648	2	17,9375	41,4375	131,010	2	17,938	42,938	139,373	2	17,938	45,250	152,265	
	3	17,9375	40,313	124,739	3	17,9375	41,875	133,449	3	17,938	44,375	147,387	3	17,938	46,438	158,885	
	4	17,9375	40,250	124,390	4	17,9375	41,9375	133,798	4	17,938	44,438	147,735	4	17,938	46,375	158,537	
	5	17,9375	40,438	125,436	5	17,9375	41,6875	132,404	5	17,938	44,000	145,296	5	17,938	46,125	157,143	
	6	17,9375	40,125	123,693	6	17,9375	41,0625	128,920	6	17,938	43,875	144,599	6	17,938	45,688	154,704	
7	17,9375	39,500	120,209	7	17,9375	40,5625	126,132	7	17,938	43,438	142,160	7	17,938	45,563	154,007		
Prom		40,188		124,042		Prom		41,446		131,060		Prom		43,884		144,649	
Desv Est		0,395		2,204		Desv Est		0,487		2,717		Desv Est		0,535		2,980	
Desv Est		0,451		2,516		Desv Est		0,451		2,516		Desv Est		0,451		2,516	

		D1				D2				D3				D4			
PC 3	Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	17,938	42,750	138,328	1	17,938	43,938	144,948	1	17,938	46,000	156,446	1	17,938	47,750	166,202	
	2	17,938	42,000	134,146	2	17,938	42,938	139,373	2	17,938	45,250	152,265	2	17,938	46,938	161,672	
	3	17,938	43,125	140,418	3	17,938	44,188	146,341	3	17,938	46,250	157,840	3	17,938	47,500	164,808	
	4	17,938	42,813	138,676	4	17,938	44,313	147,038	4	17,938	46,125	157,143	4	17,938	48,000	167,596	
	5	17,938	42,813	138,676	5	17,938	43,938	144,948	5	17,938	45,938	156,098	5	17,938	47,438	164,460	
	6	17,938	42,563	137,282	6	17,938	43,438	142,160	6	17,938	45,375	152,962	6	17,938	47,438	164,460	
7	17,938	41,750	132,753	7	17,938	43,000	139,721	7	17,938	45,375	152,962	7	17,938	47,438	164,460		
Prom		42,545		137,183		Prom		43,679		143,504		Prom		47,500		164,808	
Desv Est		0,492		2,741		Desv Est		0,557		3,106		Desv Est		0,412		2,297	
PC 4	Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		Tiempo sin control		52		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	17,938	44,750	149,477	1	17,938	45,688	154,704	1	17,938	47,000	162,021	1	17,938	48,563	170,732	
	2	17,938	44,063	145,645	2	17,938	44,875	150,174	2	17,938	46,625	159,930	2	17,938	47,500	164,808	
	3	17,938	44,813	149,826	3	17,938	45,938	156,098	3	17,938	47,250	163,415	3	17,938	48,875	172,474	
	4	17,938	45,000	150,871	4	17,938	45,750	155,052	4	17,938	47,375	164,111	4	17,938	49,188	174,216	
	5	17,938	44,625	148,780	5	17,938	45,375	152,962	5	17,938	46,938	161,672	5	17,938	49,063	173,519	
	6	17,938	44,000	145,296	6	17,938	44,875	150,174	6	17,938	46,563	159,582	6	17,938	48,188	168,641	
7	17,938	44,063	145,645	7	17,938	45,000	150,871	7	17,938	47,250	163,415	7	17,938	48,938	172,822		
Prom		44,473		147,934		Prom		45,357		152,862		Prom		47,000		162,021	
Desv Est		0,419		2,336		Desv Est		0,446		2,486		Desv Est		0,317		1,765	

Anexo 2. Datos diseño de experimentos de la Red 3

	D1				D2				D3				D4			
PC 1	Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5	
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3	
	Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875	
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc
	1	23,000	61,438	167,120	1	23,000	62,625	172,283	1	23,000	64,688	181,250	1	23,000	66,500	189,130
	2	23,000	58,938	156,250	2	23,000	61,125	165,761	2	23,000	62,688	172,554	2	23,000	64,625	180,978
	3	23,000	59,813	160,054	3	23,000	60,750	164,130	3	23,000	63,125	174,457	3	23,000	64,875	182,065
	4	23,000	60,188	161,685	4	23,000	61,375	166,848	4	23,000	63,938	177,989	4	23,000	66,188	187,772
	5	23,000	59,438	158,424	5	23,000	61,125	165,761	5	23,000	63,313	175,272	5	23,000	65,188	183,424
	6	23,000	59,375	158,152	6	23,000	60,625	163,587	6	23,000	63,375	175,543	6	23,000	65,250	183,696
7	23,000	59,188	157,337	7	23,000	60,875	164,674	7	23,000	63,250	175,000	7	23,000	64,688	181,250	
Prom		59,768 159,860		Prom		61,214 166,149		Prom		63,482 176,009		Prom		65,330 184,045		
Desv Est		0,842 3,662		Desv Est		0,672 2,922		Desv Est		0,647 2,814		Desv Est		0,736 3,199		
PC 2	Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1	
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3	
	Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875	
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc
	1	23	61,313	166,576	1	23	62,5	171,739	1	23,000	64,625	180,978	1	23,000	66,438	188,859
	2	23	58,875	155,978	2	23	60,9375	164,946	2	23,000	62,563	172,011	2	23,000	64,375	179,891
	3	23	59,688	159,511	3	23	60,75	164,130	3	23,000	62,813	173,098	3	23,000	64,625	180,978
	4	23	60,000	160,870	4	23	61,25	166,304	4	23,000	64,000	178,261	4	23,000	66,125	187,500
	5	23	59,313	157,880	5	23	61,1875	166,033	5	23,000	63,188	174,728	5	23,000	65,063	182,880
	6	23	59,250	157,609	6	23	60,375	162,500	6	23,000	63,125	174,457	6	23,000	65,375	184,239
7	23	59,375	158,152	7	23	60,75	164,130	7	23,000	62,875	173,370	7	23,000	64,500	180,435	
Prom		59,688 159,511		Prom		61,107 165,683		Prom		63,313 175,272		Prom		65,214 183,540		
Desv Est		0,799 3,473		Desv Est		0,682 2,963		Desv Est		0,736 3,200		Desv Est		0,810 3,522		

		D1				D2				D3				D4			
PC 3	Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	23,000	63,125	174,457	1	23,000	64,188	179,076	1	23,000	65,875	186,413	1	23,000	67,500	193,478	
	2	23,000	61,688	168,207	2	23,000	62,313	170,924	2	23,000	63,938	177,989	2	23,000	65,313	183,967	
	3	23,000	61,250	166,304	3	23,000	62,313	170,924	3	23,000	64,125	178,804	3	23,000	65,750	185,870	
	4	23,000	62,438	171,467	4	23,000	63,625	176,630	4	23,000	65,750	185,870	4	23,000	67,063	191,576	
	5	23,000	62,125	170,109	5	23,000	62,813	173,098	5	23,000	64,500	180,435	5	23,000	66,375	188,587	
	6	23,000	61,188	166,033	6	23,000	62,688	172,554	6	23,000	64,563	180,707	6	23,000	66,688	189,946	
7	23,000	61,563	167,663	7	23,000	62,438	171,467	7	23,000	64,000	178,261	7	23,000	65,750	185,870		
Prom		61,911		169,177		Prom		62,911		173,525		Prom		64,679		181,211	
Desv Est		0,699		3,038		Desv Est		0,723		3,145		Desv Est		0,810		3,524	
Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6			
Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3			
Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875			
No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc		
1	23,000	65,000	182,609	1	23,000	66,188	187,772	1	23,000	67,500	193,478	1	23,000	69,313	201,359		
2	23,000	63,188	174,728	2	23,000	63,875	177,717	2	23,000	65,375	184,239	2	23,000	67,125	191,848		
3	23,000	63,625	176,630	3	23,000	64,250	179,348	3	23,000	65,688	185,598	3	23,000	67,750	194,565		
4	23,000	64,563	180,707	4	23,000	65,625	185,326	4	23,000	66,938	191,033	4	23,000	68,688	198,641		
5	23,000	63,688	176,902	5	23,000	64,563	180,707	5	23,000	66,750	190,217	5	23,000	68,188	196,467		
6	23,000	64,063	178,533	6	23,000	64,875	182,065	6	23,000	66,688	189,946	6	23,000	67,938	195,380		
7	23,000	63,813	177,446	7	23,000	64,375	179,891	7	23,000	65,813	186,141	7	23,000	67,688	194,293		
Prom		63,991		178,222		Prom		64,821		181,832		Prom		66,393		188,665	
Desv Est		0,613		2,664		Desv Est		0,817		3,551		Desv Est		0,775		3,371	
PC 4	Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		Tiempo sin control		77,6875		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	23,000	65,000	182,609	1	23,000	66,188	187,772	1	23,000	67,500	193,478	1	23,000	69,313	201,359	
	2	23,000	63,188	174,728	2	23,000	63,875	177,717	2	23,000	65,375	184,239	2	23,000	67,125	191,848	
	3	23,000	63,625	176,630	3	23,000	64,250	179,348	3	23,000	65,688	185,598	3	23,000	67,750	194,565	
	4	23,000	64,563	180,707	4	23,000	65,625	185,326	4	23,000	66,938	191,033	4	23,000	68,688	198,641	
	5	23,000	63,688	176,902	5	23,000	64,563	180,707	5	23,000	66,750	190,217	5	23,000	68,188	196,467	
	6	23,000	64,063	178,533	6	23,000	64,875	182,065	6	23,000	66,688	189,946	6	23,000	67,938	195,380	
7	23,000	63,813	177,446	7	23,000	64,375	179,891	7	23,000	65,813	186,141	7	23,000	67,688	194,293		
Prom		63,991		178,222		Prom		64,821		181,832		Prom		66,393		188,665	
Desv Est		0,613		2,664		Desv Est		0,817		3,551		Desv Est		0,775		3,371	

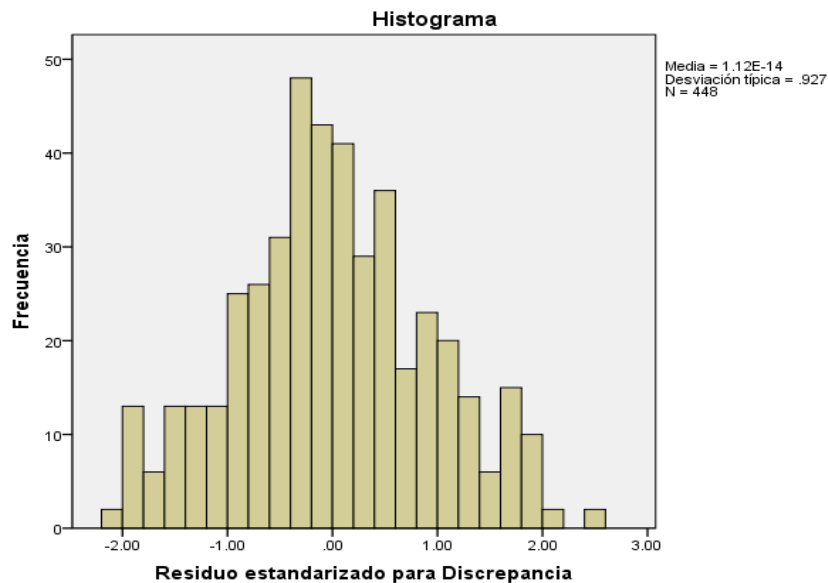
Anexo 2. Datos diseño de experimentos de la Red 4

	D1				D2				D3				D4				
PC 1	Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		Periodo de control		0,5		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	27,000	57,125	111,574	1	27,000	58,125	115,278	1	27,000	60,188	122,917	1	27,000	61,813	128,935	
	2	27,000	56,188	108,102	2	27,000	57,438	112,731	2	27,000	60,063	122,454	2	27,000	61,500	127,778	
	3	27,000	56,375	108,796	3	27,000	57,250	112,037	3	27,000	60,188	122,917	3	27,000	61,563	128,009	
	4	27,000	56,188	108,102	4	27,000	57,625	113,426	4	27,000	59,813	121,528	4	27,000	61,813	128,935	
	5	27,000	57,625	113,426	5	27,000	58,938	118,287	5	27,000	61,000	125,926	5	27,000	63,188	134,028	
	6	27,000	56,813	110,417	6	27,000	58,063	115,046	6	27,000	60,438	123,843	6	27,000	62,125	130,093	
7	27,000	54,813	103,009	7	27,000	56,375	108,796	7	27,000	58,563	116,898	7	27,000	60,750	125,000		
Prom		56,446		109,061		Prom		57,688		113,657		Prom		60,036		122,354	
Desv Est		0,894		3,310		Desv Est		0,804		2,976		Desv Est		0,748		2,771	
PC 2	Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1		Periodo de control		1		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	27,000	56,750	110,185	1	27,000	57,875	114,352	1	27,000	59,938	121,991	1	27,000	61,688	128,472	
	2	27,000	55,938	107,176	2	27,000	57,188	111,806	2	27,000	59,750	121,296	2	27,000	61,375	127,315	
	3	27,000	56,125	107,870	3	27,000	57,250	112,037	3	27,000	60,063	122,454	3	27,000	61,375	127,315	
	4	27,000	56,188	108,102	4	27,000	57,250	112,037	4	27,000	59,563	120,602	4	27,000	61,375	127,315	
	5	27,000	57,563	113,194	5	27,000	58,875	118,056	5	27,000	60,938	125,694	5	27,000	63,063	133,565	
	6	27,000	56,813	110,417	6	27,000	57,750	113,889	6	27,000	60,063	122,454	6	27,000	62,000	129,630	
7	27,000	54,750	102,778	7	27,000	56,250	108,333	7	27,000	58,500	116,667	7	27,000	60,500	124,074		
Prom		56,304		108,532		Prom		57,491		112,930		Prom		59,830		121,594	
Desv Est		0,879		3,256		Desv Est		0,804		2,978		Desv Est		0,730		2,702	
Desv Est		0,781		2,894		Desv Est		0,781		2,894		Desv Est		0,781		2,894	

		D1				D2				D3				D4			
PC 3	Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		Periodo de control		3		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	27,000	59,000	118,519	1	27,000	59,750	121,296	1	27,000	61,313	127,083	1	27,000	62,875	132,870	
	2	27,000	58,313	115,972	2	27,000	59,188	119,213	2	27,000	61,188	126,620	2	27,000	62,250	130,556	
	3	27,000	58,125	115,278	3	27,000	59,375	119,907	3	27,000	60,938	125,694	3	27,000	62,875	132,870	
	4	27,000	58,438	116,435	4	27,000	59,438	120,139	4	27,000	61,188	126,620	4	27,000	62,875	132,870	
	5	27,000	59,063	118,750	5	27,000	60,250	123,148	5	27,000	62,625	131,944	5	27,000	64,250	137,963	
	6	27,000	58,688	117,361	6	27,000	59,688	121,065	6	27,000	61,500	127,778	6	27,000	63,438	134,954	
7	27,000	57,063	111,343	7	27,000	57,938	114,583	7	27,000	60,313	123,380	7	27,000	62,000	129,630		
Prom		58,384 116,237		Prom		59,375 119,907		Prom		61,295 127,017		Prom		62,938 133,102			
Desv Est		0,677 2,509		Desv Est		0,720 2,666		Desv Est		0,699 2,587		Desv Est		0,746 2,762			
PC 4	Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		Periodo de control		6		
	Demora		0,5		Demora		1		Demora		2		Demora		3		
	Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		Tiempo sin control		74,625		
	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	No.	Tiempo Planeado	Fin Real	% Disc	
	1	27,000	61,375	127,315	1	27,000	62,375	131,019	1	27,000	63,688	135,880	1	27,000	65,250	141,667	
	2	27,000	61,000	125,926	2	27,000	61,563	128,009	2	27,000	63,125	133,796	2	27,000	64,375	138,426	
	3	27,000	60,875	125,463	3	27,000	61,875	129,167	3	27,000	63,625	135,648	3	27,000	65,125	141,204	
	4	27,000	61,375	127,315	4	27,000	62,063	129,861	4	27,000	63,750	136,111	4	27,000	65,313	141,898	
	5	27,000	62,250	130,556	5	27,000	63,250	134,259	5	27,000	64,750	139,815	5	27,000	66,125	144,907	
	6	27,000	61,750	128,704	6	27,000	62,500	131,481	6	27,000	64,500	138,889	6	27,000	65,813	143,750	
7	27,000	60,438	123,843	7	27,000	61,250	126,852	7	27,000	62,188	130,324	7	27,000	63,875	136,574		
Prom		61,295 127,017		Prom		62,125 130,093		Prom		63,661 135,780		Prom		65,125 141,204			
Desv Est		0,596 2,207		Desv Est		0,660 2,446		Desv Est		0,852 3,157		Desv Est		0,780 2,888			

Anexo 3. Resultados de estadística

Histograma de Residuo estandarizado para Discrepancia



Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Residuo estandarizado para Discrepancia	.043	448	.049

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Contraste

de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a

Variable dependiente: Residuo estandarizado para Discrepancia

F	gl1	gl2	Sig.
2.617	3	444	.051

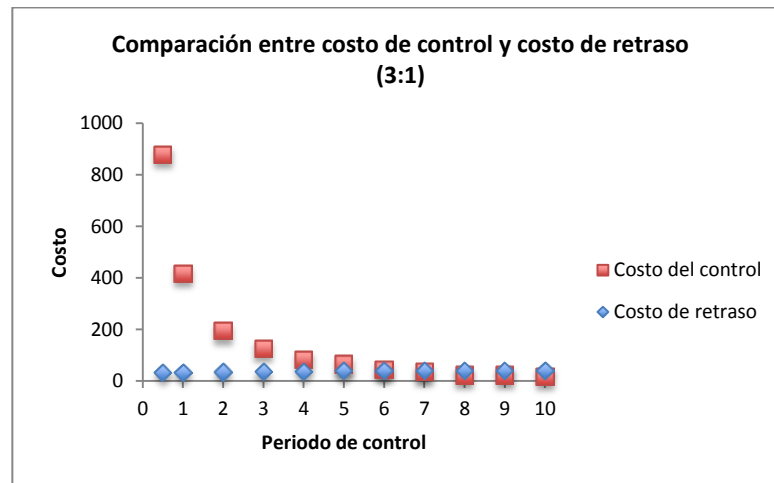
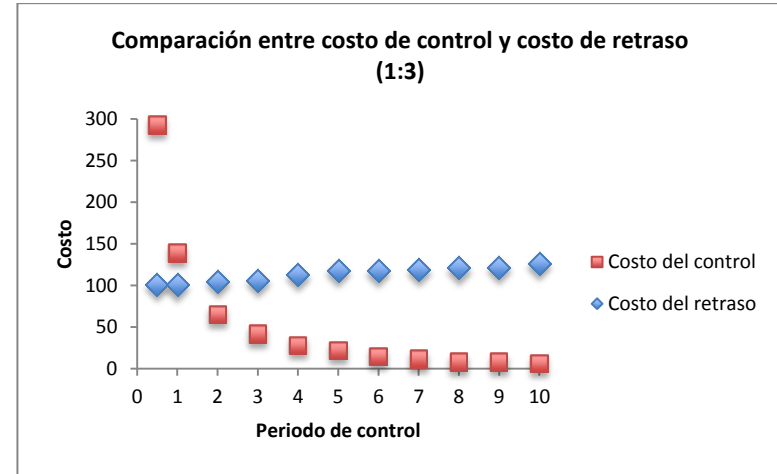
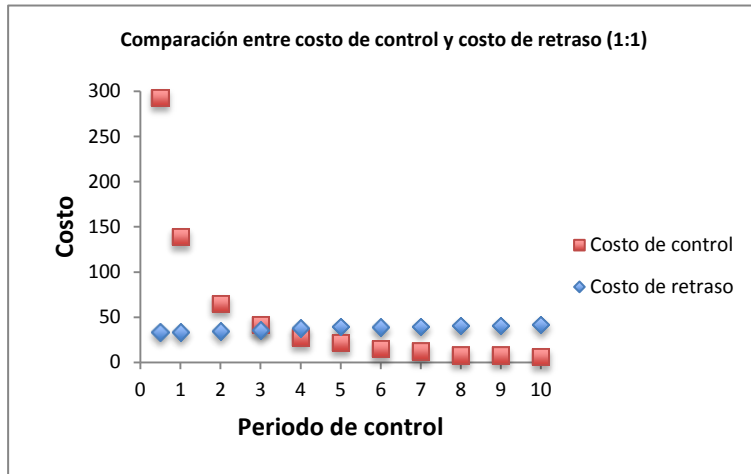
Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + red

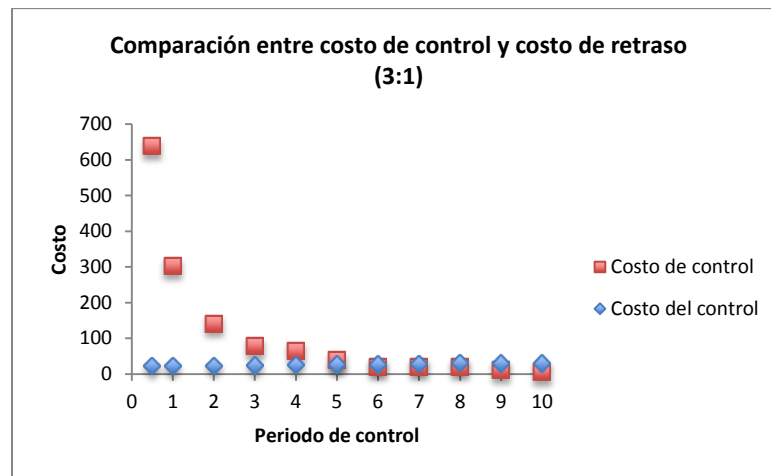
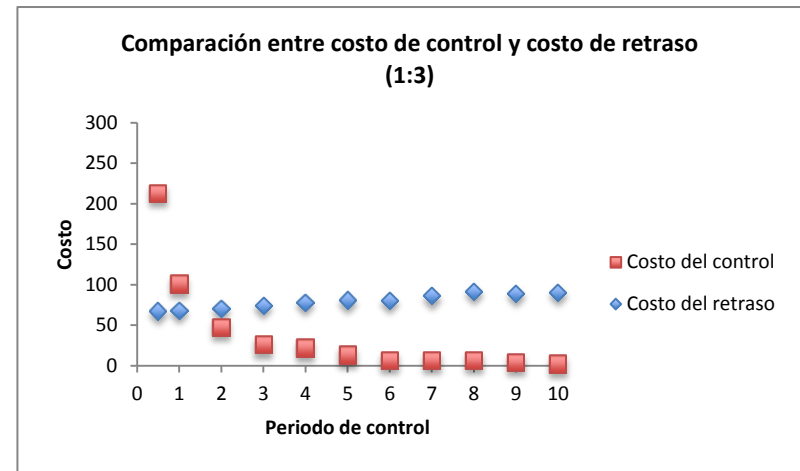
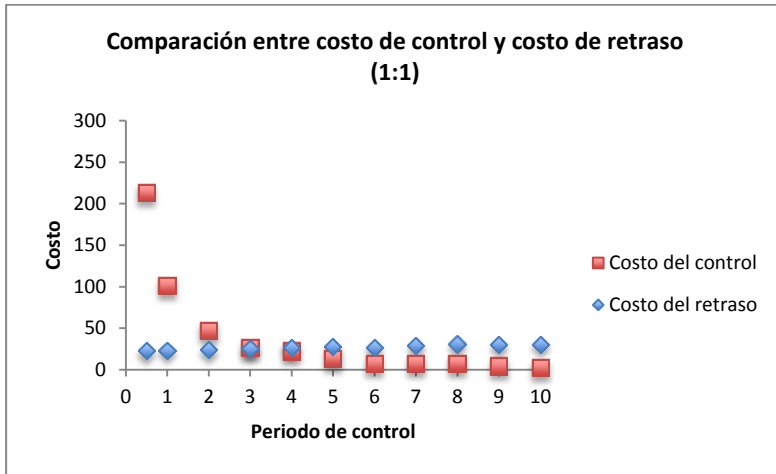
Anexo 4. Discrepancias calculadas, para el orden de priorización de control en las diferentes políticas.

Red 1								Red 2								Red 3								Red 4							
% Discrepancia								% Discrepancia								% Discrepancia								% Discrepancia							
ARC	MST	DTS	MRT	MVS	AMD	AMV	API	ARC	MST	DTS	MRT	MVS	AMD	AMV	API	ARC	MST	DTS	MRT	MVS	AMD	AMV	API	ARC	MST	DTS	MRT	MVS	AMD	AMV	API
222	222	222	222	222	213	232	213	190	171	190	171	171	190	190	171	249	249	249	249	249	252	252	217	176	176	176	176	176	176	176	163
217	217	217	217	217	196	196	196	190	171	171	171	171	190	175	157	232	249	249	249	249	252	217	200	176	163	176	163	163	176	150	160
213	217	217	217	217	196	196	177	190	171	171	171	171	190	175	150	219	232	232	232	232	217	217	186	176	163	163	163	163	160	150	160
213	217	217	186	186	196	177	177	180	164	171	164	164	171	175	142	219	232	232	232	219	201	217	171	176	163	163	163	163	160	142	142
213	186	186	186	186	177	177	171	166	164	164	164	164	167	160	139	201	232	219	219	219	186	217	168	176	161	161	161	161	160	136	125
213	186	186	186	186	173	177	164	157	155	164	155	155	167	152	137	167	232	219	219	219	186	217	167	176	156	156	156	160	131	122	
211	186	186	186	186	173	170	159		155	155	149	155	155	147	132		232	219	219	219	186	201			146	146	146	146	160	122	122
	186	186	186	186	173	170	159		149	155	149	155	145	133	128		219	219	219	219	171	186			144	144	146	144	136	116	113
	186	183	186	183	166	170	159		149	149	149	149	145	133	126		219	219	219	219	171	171			144	144	144	144	122	113	113
	186	183	183	183	164	170	156		149	149	149	149	138	126			219	219	219	219	171	171			144	144	144	144	122	113	112
	186	183	183	183	164	166	154		149	149	149	149	128	126			219	219	219	219	171	171			144	144	144	144	122	113	112
	183	183	183	164	164	166	154		149	149	149	149	126	126			219	219	219	219	171	171			144	144	125	144	122	113	112
	183	164	183	164	164	159		149	149	149	137	126	126	126			219	219	219	201	171	171			125	144	125	144	122	113	112
	164	164	164	164	164	159		149	137	149	137	126	126	126			219	201	201	201	168	168			125	144	125	125	113	113	
	164	164	164	164	164	157		137	137	137	137	126	126	126			201	201	201	201	167	168			125	144	125	120	113	113	
	164	164	164	164	164	157		137	137	137	137	126	126	126			201	201	201	201	167	168			125	120	125	120	113	113	
	156	156	156	156	155	157		137	137	137	137	126	126	126			201	201	201	201	167	167			120	120	120	120	113	113	
	156	156	156	154	154	157		137	137	137	126	126	126	126			167	167	167	167	167	167			120	120	120	120	113	112	
	154	154	154	154	154	154		137	137	137	126	126	126	126			167	167	167	167	167	167			112	112	112	112	113	112	
	154	154	154	154	154	154		126	126	126	126	126	126	126			167	167	167	167	167	167			112	112	112	112	112	112	

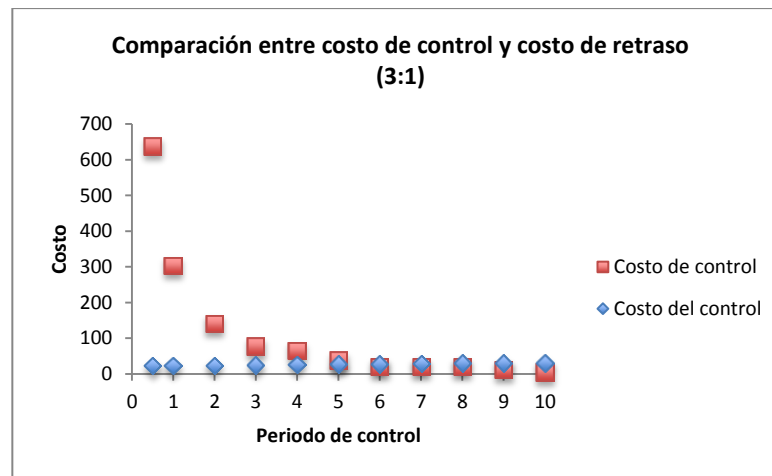
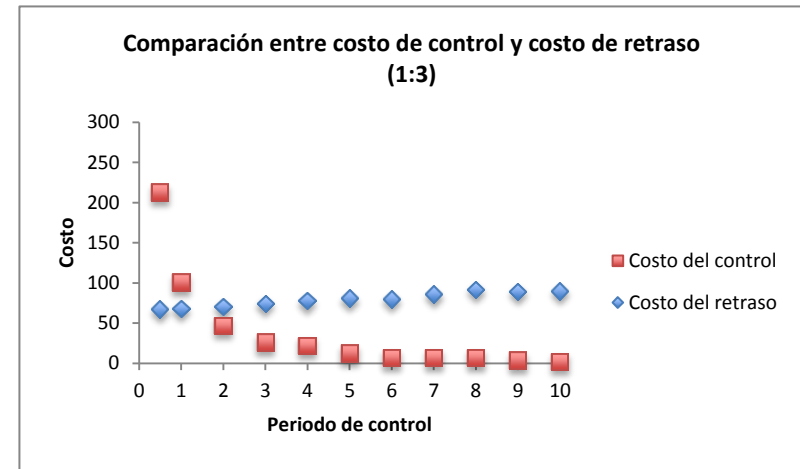
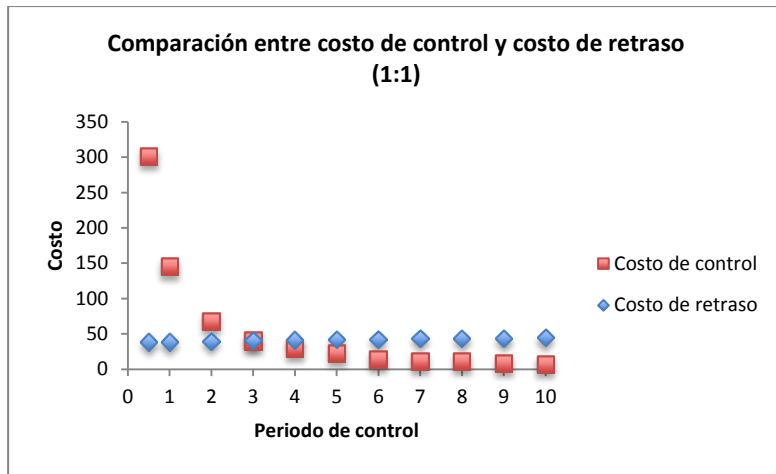
Anexo 5. Relaciones de costos de control vs costos de retraso para la red 1



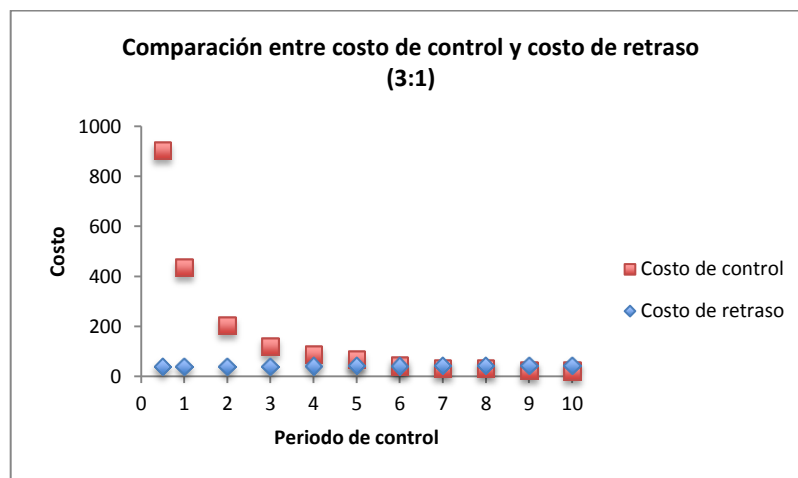
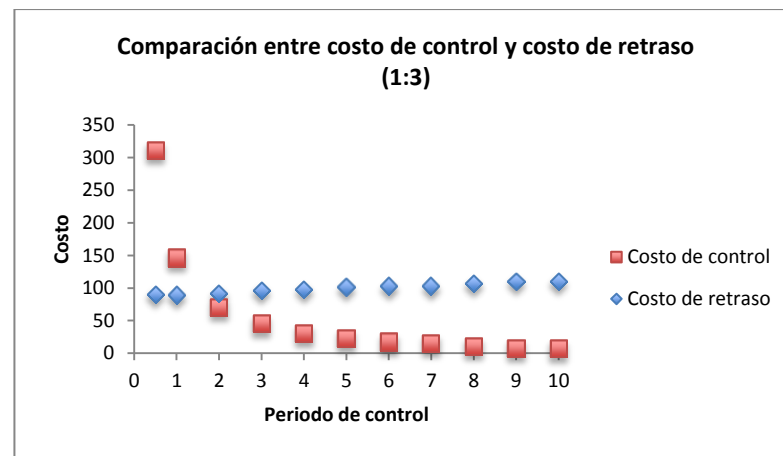
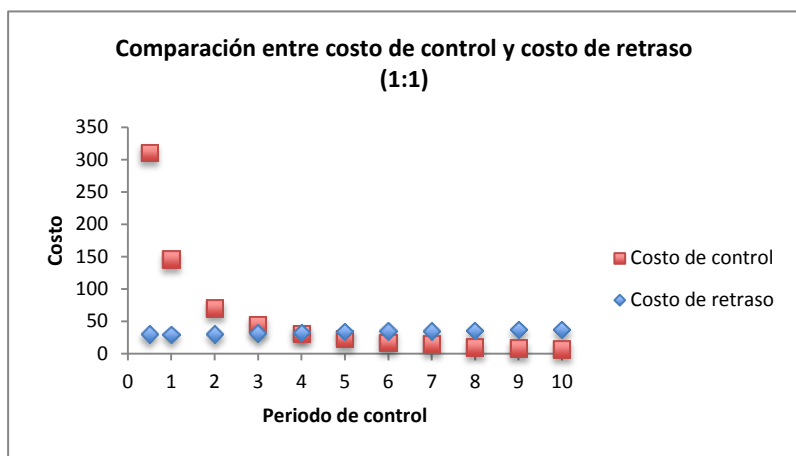
Anexo 5. Relaciones de costos de control vs costos de retraso para la red 2



Anexo 5. Relaciones de costos de control vs costos de retraso para la red 3



Anexo 5. Relaciones de costos de control vs costos de retraso para la red 4



Anexo 6. Comparación de los métodos de priorización propuestos en el estudio para las redes 1 y 2.

Red 1												Red 2											
ARC			AMD			AMV			API			ARC			AMD			AMV			API		
ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$
2	222	6	10	213	42	3	232	50	10	213	42	4	190	4	12	190	29	12	190	29	3	171	12
7	217	12	3	196	92	10	196	92	3	196	92	5	190	10	7	190	39	21	175	45	17	157	29
10	213	54	4	196	123	4	196	123	17	177	119	11	190	25	11	190	54	7	175	55	21	150	45
16	213	59	9	196	146	17	177	150	15	177	136	13	180	34	3	171	66	19	175	71	9	142	56
17	213	86	17	177	173	9	177	173	2	171	142	17	166	51	13	167	75	17	160	88	6	139	66
18	213	99	7	173	179	15	177	190	18	164	155	21	157	67	21	167	91	9	152	99	13	137	75
19	211	104	15	173	196	18	170	203	14	159	168				4	155	95	13	147	108	19	129	91
			6	173	206	14	170	216	7	159	174				17	145	112	3	133	120	12	129	120
			18	166	219	13	170	224	6	159	184				10	145	120	11	133	135	8	129	124
			16	164	224	11	170	233	16	156	189				6	138	130	6	126	145	4	126	128
			14	164	237	7	166	239	19	154	194				9	128	141	16	126	155			
			8	164	245	5	166	246	21	154	198				19	126	157	15	126	163			
			11	164	254	2	159	252							16	126	167	2	126	169			
			13	164	262	8	159	260							8	126	171	5	126	175			
			5	164	269	19	157	265							15	126	179	20	126	182			
			21	164	273	6	157	275							2	126	185	4	126	186			
			2	155	279	12	157	281							5	126	191	10	126	194			
			19	154	284	20	157	284							20	126	198	8	126	198			
			12	154	290	16	154	289							14	126	205	14	126	205			
			20	154	293	21	154	293							18	126	212	18	126	212			

Anexo 6. Comparación de los métodos de priorización propuestos en el estudio para las redes 3 y 4.

Red 3												Red 4											
ARC			AMD			AMV			API			ARC			AMD			AMV			API		
ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$	ACT	% DISC	\$
3	249	4	2	252	10	13	252	16	20	217	46	2	176	10	19	176,389	25	11	176,389	31	12	162,7314815	26
6	232	25	13	252	26	20	217	62	6	200	67	3	176	21	8	176,389	40	17	150,463	70	11	159,7222222	57
8	219	45	20	217	72	2	217	72	8	186	87	8	176	36	12	159,722	66	9	150,463	95	19	159,7222222	82
12	219	49	8	201	92	21	217	104	16	171	109	11	176	67	16	159,722	85	12	141,898	121	17	142,1296296	121
16	201	71	16	186	114	19	217	134	3	168	113	16	176	86	9	159,722	110	16	135,88	140	4	125,462963	142
20	167	117	19	186	144	4	217	155	12	167	117	19	176	111	15	159,722	122	4	131,25	161	16	121,5277778	161
			21	186	176	16	201	177							11	159,722	153	19	121,528	186	8	121,5277778	176
			6	171	197	8	186	197							17	135,88	192	21	115,509	203	21	112,7314815	193
			4	171	218	6	171	218							4	121,528	213	3	112,731	214	3	112,7314815	204
			17	171	228	11	171	227							18	121,528	221	18	112,731	222	6	111,8055556	209
			5	171	244	5	171	243							7	121,528	227	2	112,731	232	9	111,5740741	234
			10	171	252	10	171	251							2	121,528	237	14	112,731	239	13	111,5740741	245
			11	171	261	15	171	256							3	121,528	248	10	112,731	246	14	111,5740741	252
			3	168	265	3	168	260							21	112,731	265	7	112,731	252			
			12	167	269	18	168	267							13	112,731	276	8	112,731	267			
			7	167	271	7	168	269							20	112,731	287	13	112,731	278			
			9	167	275	12	167	273							10	112,731	294	20	112,731	289			
			15	167	280	9	167	277							14	112,731	301	6	111,574	294			
			14	167	285	14	167	282							5	112,731	305	5	111,574	298			
			18	167	292	17	167	292							6	111,574	310	15	111,574	310			