



UNIVERSIDAD  
**AUTÓNOMA**  
DE ICA  
Resolución N°045-2020-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS Y ADMINISTRACIÓN  
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

TESIS

USO DE MÚLTIPLES FILTROS DE MODELO QUE INTERACTÚAN PARA INDICAR  
EL RIESGO DEL PROGRAMA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN  
GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN E INGENIERÍA DE SOFTWARE Y REDES

PRESENTADO POR:

LEVANO MUNAYCO EDSON JESÚS

TESIS DESARROLLADA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
DE SISTEMAS

DOCENTE ASESOR:

DR. ARMANDO JOSE MORENO HEREDIA

CÓDIGO ORCID N°0000-0002-6564-3344

**2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios, mi roca eterna, por guiarme en cada paso de este viaje académico y darme la fuerza para perseverar. Gracias por ser mi fuente de fortaleza y entendimiento en este logro académico.

## RESUMEN

El desarrollo tecnológico ha aumentado exponencialmente. Los directores de programas se ven presionados a acelerar el desarrollo. Hay muchos recursos disponibles para los administradores de programas que permiten la aceleración, tales como: recursos adicionales en forma de financiamiento, personas y tecnología. También hay impactos negativos en la aceleración, tales como: inclusión, inexperiencia de los gerentes de programas y comunicación. Esta investigación busca identificar el límite al que se puede acelerar un programa o proyecto antes de que el director del programa comience a aceptar una cantidad inaceptable de riesgo predeterminado.

Esta investigación utilizará algoritmos de estimación utilizados por sistemas de sensores para estimar el estado actual y futuro de los objetos en el espacio. El algoritmo de estimación más común utilizado es el filtro de Kalman desarrollado por Kalman (Bar-Shalom, Rong Li y Kirubarajan, 2001). Esta investigación examinará el uso de dos filtros de Kalman en forma de modelo múltiple interactivo (IMM) para predecir el estado futuro del programa. Los filtros de modelos múltiples tradicionales utilizan la técnica bayesiana para cambiar de forma adaptativa entre diferentes modelos de movimiento implementados en la estructura del filtro (Patente de EE. UU. No. 7030809, 2005). Estos diseños lógicos se basan en una matriz de conmutación de Markov (MSM) predefinida. Si el estado futuro se acerca a un nivel de riesgo aceptable predeterminado, el MSM indicará al director del programa que el proyecto ha alcanzado potencialmente un nivel de riesgo inaceptable.

**PALABRA CLAVES:**

Modelo múltiple interactivo, matriz de conmutación markov, sistema múltiple

## INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	8
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	9
2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN GENERAL	10
2.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN ESPECÍFICAS	11
2.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	11
2.5. OBJETIVO GENERAL	12
2.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2.7. ALCANCES Y LIMITACIONES	13
III. MARCO TEÓRICO	13
3.1. ANTECEDENTES	13
3.2. BASES TEÓRICAS	16
3.3. MARCO CONCEPTUAL	24
IV. METODOLOGÍA	25
4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	25
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	26
4.3. POBLACIÓN – MUESTRA	26
4.4. HIPÓTESIS GENERAL	27
4.5. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	27
4.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	28
4.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	29
4.8. RECOLECCIÓN DE RESULTADOS	30

<b>V. RESULTADOS</b>	<b>31</b>
<b>5.1.PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>31</b>
<b>5.2.INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>38</b>
<b>VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	<b>39</b>
<b>6.1.ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS</b>	<b>39</b>
<b>6.2.COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON MARCO TEÓRICO</b>	<b>40</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>42</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>43</b>

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico ha aumentado exponencialmente hasta el punto de que los procesos de adquisición normales no pueden seguir el ritmo. Muchas veces, durante el desarrollo, la industria lanza nuevas tecnologías, como sensores, que no pueden incorporarse al desarrollo de programas en curso. Para poder seguir el ritmo de esta tecnología, los directores de programas se ven obligados a acelerar el desarrollo.

En un esfuerzo por igualar el ritmo de la tecnología, se pide a los directores de programas que aceleren el desarrollo y también que sean ágiles. Existen numerosos métodos para acelerar el desarrollo de programas y existen impactos negativos. El propósito de esta investigación es evaluar el uso modificado o redefinido de técnicas de estimación para el seguimiento de objetivos para estimar el cronograma, el costo y el desempeño con una tolerancia al riesgo predefinida.

Una excelente manera de acelerar el desarrollo de un proyecto es aprovechar la tecnología madura. La tecnología madura se puede aprovechar tanto dentro del propio proyecto como como colaborador del mismo. Por ejemplo, se pueden utilizar herramientas CAD para generar dibujos en los que las impresoras 3D puedan imprimir piezas en lugar del mecanizado real de piezas. La impresión 3D de piezas tiene el potencial de reducir drásticamente los costos y programar las demandas. Otro ejemplo implica el uso de una tecnología madura dentro de un proyecto. Un trabajo reciente de una universidad sobre diseño basado en conjuntos ha brindado al gobierno la capacidad de desarrollar un Memorando de Objetivos del Programa (POM) de manera más efectiva y eficiente al reducir la cantidad de horas de trabajo necesarias para iterar a través de las diversas combinaciones dentro del espacio de la solución (Singer, Doerry , y Buckley, 2019).

## **CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

Es mucho más difícil acelerar un programa que se está ejecutando actualmente que uno nuevo. Los programas de nuevo inicio tienen la ventaja de desarrollar una comprensión común de las necesidades/requisitos de los clientes y un plan de programa, formación de equipos y un enfoque de gestión de programas. La ejecución de programas puede comenzar con la comprensión de las necesidades del cliente, pero a medida que el programa evoluciona, las necesidades del cliente, la membresía del equipo y los planes del programa pueden cambiar debido a una variedad de eventos incontrolables. La siguiente sección proporcionará una descripción general de la literatura disponible sobre la aceleración de programas, tanto los métodos como las posibles consecuencias. Además, la siguiente sección proporcionará una descripción general de la teoría de la estimación aplicada a la gestión de programas.

### **2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN GENERAL**

¿QUÉ SE PUEDE HACER PARA ACELERAR EL CRONOGRAMA DE UN PROGRAMA DESDE SU ESTADO ACTUAL Y CUÁL ES EL RIESGO ASOCIADO?

### **2.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN ESPECÍFICAS**

¿CÓMO SE REALIZA UNA EVALUACION DE MÉTODOS PAR ACELERAR LAS ACTIVIDADES DE PROYECTO?

¿ COMO SE REALIZARA UNA ADECUADA GESTIÓN DE PROGRAMAS?

## **2.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

### **METODOS E IMPACTOS DE LOS PROGRAMAS DE ACELERACION**

Una vez iniciado un programa, en general, se ha generado la estimación del costo total del ciclo de vida para tener en cuenta los recursos (mano de obra, equipo e instalaciones) necesarios para completar la ejecución del proyecto. ¿Cómo aceleramos un programa sin ajustes de financiación? Este es un problema difícil de resolver. Los programas que pueden ser más costosos en el corto plazo pueden amortizarse por sí solos en términos de utilidad para el cliente y costo total de vida del programa. Hay ocasiones en las que se puede considerar el costo de no acelerar un programa.

Muchos han estudiado métodos para acelerar programas tales como recursos adicionales en forma de financiamiento o personal, programación de recursos, incorporación de nueva tecnología, mayor comunicación, definición clara de requisitos, aceptación de riesgos y eliminación de barreras. Las siguientes secciones proporcionarán detalles adicionales sobre cada uno de estos métodos.

## **2.5. OBJETIVO GENERAL**

**ANALIZAR COMO SE ACELERA EL CRONOGRAMA DE UN PROGRAMA DESDE SU ESTADO ACTUAL Y CUÁL ES EL RIESGO ASOCIADO?**

## **2.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

REALIZAR UNA EVALUACION DE MÉTODOS PAR ACELERAR LAS ACTIVIDADES DE PROYECTO

REALIZAR UNA ADECUADA GESTIÓN DE PROGRAMAS

## **2.7. ALCANCES Y LIMITACIONES**

El uso de la programación de recursos como técnica para acelerar el desarrollo de proyectos suele ser una de las primeras técnicas implementadas. Los recursos incluyen mano de obra adicional, horas de trabajo, equipos e instalaciones. Las personas con experiencia en un tema específico relevante para el proyecto pueden aportar una gran cantidad de conocimientos y experiencia para abordar un problema que a su vez acelerará el desarrollo. Aumentar la disponibilidad de equipos e instalaciones de laboratorio/pruebas también brinda la oportunidad de completar las actividades del proyecto rápidamente

## **CAPITULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

Al revisar la literatura asociada con el desempeño acelerado de un programa, el entendimiento común entre lo que consiste en un programa versus un proyecto tal como lo definen Mumms y Bjeirmi (Munns y Bjeirmi, 2020) es un excelente punto de partida. Un proyecto se define como una serie de actividades para cumplir un objetivo mientras que un programa o gestión de programas es el proceso de controlar las actividades del proyecto. Este trabajo se centrará en el nivel del programa y evaluará el costo y el cronograma de alto nivel asociados con las actividades del proyecto. Se han realizado muchas investigaciones sobre la evaluación de métodos para acelerar los programas. Nicoletti y Nicolo identificaron actividades que se pueden realizar simultáneamente y en qué medida (Nicoletti y Nicolo, 2019). Roemer et al. evaluó la compensación entre el colapso y la superposición de actividades para acelerar el programa entregar (Roemer, Ahmadi y Wang, 2019). La comunicación eficaz siempre tiene un impacto positivo en la aceleración del programa, como lo describe Keyton (Keyton, 2018). Los recursos adicionales en forma de personal y la formación efectiva de grupos también pueden ayudar a acelerar el programa (Wheelan, 2019). Los impactos negativos también pueden estar asociados con la aceleración, como los asociados con el fracaso del proyecto Mars Climate Orbiter descrito por Sauser et al. (Sauser, Reilly y Shenhar, 2020).

Esta investigación supone que se han determinado e implementado uno o más de los métodos de aceleración recomendados. El uso del filtro de Kalman para

pronosticar el cronograma, el costo y el desempeño del programa ha sido demostrado por la investigación realizada por Bondugula de la Universidad Texas A&M (Bondugula, 2019). Además, Byung utilizó dos modelos probabilísticos en forma de filtro de Kalman y un método de pronóstico adaptativo bayesiano para predecir la estimación del desempeño (Byung, 2017). Este trabajo amplía el trabajo de Bondugula y Byung al evaluar el IMM descrito en la Sección 4 para estimar el cronograma y el costo del programa.

### **3.2. BASES TEÓRICAS**

#### **DIFERENCIA ENTRE LA GESTIÓN DE PROYECTOS Y PROGRAMAS**

Primero, es importante definir las diferencias entre gestión de proyectos y programas.

Munns y Bjeirmi han realizado muchas investigaciones para definir y explicar las diferencias entre un proyecto y la gestión del programa asociado a él (Munns y Bjeirmi, 2020). Un proyecto puede definirse como un esfuerzo para alcanzar un “objetivo específico que implica una serie de actividades y tareas que consumen recursos (Munns y Bjeirmi, 2020)” o “un esfuerzo complejo, no rutinario, único y limitado por el tiempo, diseño de presupuesto, recursos y especificaciones de desempeño para satisfacer las necesidades del cliente (Attarzadeh, 2008)”.

El éxito del proyecto, que es a largo plazo, se basa en el objetivo, la satisfacción del usuario, la usabilidad o el valor percibido. Unas referencias del éxito del proyecto como el triángulo de oro del tiempo, presupuesto y calidad. Estos factores que contribuyen al éxito del proyecto incluyen un objetivo claro; requisitos comprensibles/concisos; involucramiento del cliente; y fuerza laboral con experiencia en la materia, planificación adecuada y apoyo organizacional. De estos

factores que contribuyen al éxito, Attarzadeh y Ow sugieren que los más importantes son la participación del cliente, el apoyo organizacional, los requisitos comprensibles/concisos y la planificación adecuada. La rentabilidad y la ventaja competitiva también son factores que no prevalecen en los laboratorios gubernamentales, pero son extremadamente importantes para nuestros socios industriales. De estos, el factor más importante es la participación del cliente. Sin una comprensión clara de las necesidades del cliente y el uso previsto, un proyecto puede acabar siendo irrelevante.

“La gestión de programas puede definirse como el proceso de controlar el logro del objetivo del proyecto” (Munns & Bjeirmi, 2020) o “un conjunto de herramientas, técnicas y conocimientos que, cuando se aplican, ayudan a lograr las tres principales limitaciones del alcance”. , coste y tiempo (Attarzadeh, 2008)”. La gestión de programas también se puede definir como “un grupo de proyectos relacionados gestionados de forma coordinada para obtener beneficios y control que no se obtienen si se gestionan individualmente. Los programas pueden contener elementos de trabajo fuera del alcance de los proyectos discretos del programa (Weaver, 2010)”.

El éxito de la gestión del programa, que es a corto plazo, se basa en los recursos, el apoyo organizacional, el compromiso y las tareas claramente definidas que logran las metas y el cronograma del proyecto.

La gestión del programa puede considerarse un subconjunto de la ejecución general del proyecto, pero no es el único factor que influye en el éxito del proyecto. Muchas organizaciones utilizan la gestión de programas para lograr los objetivos del proyecto. La gestión de programas se convierte en el mecanismo que podemos utilizar para acelerar un proyecto pero no es el único mecanismo. Los factores

organizativos, financieros y de cronograma influyen en la capacidad de acelerar un proyecto.

Dadas estas definiciones, la discusión sobre acelerar la ejecución de proyectos puede ser distinta, dada la definición de gestión de programas. Dentro de la comunidad se entiende que la gestión del programa es fundamental para el éxito del proyecto, pero no es el único factor que influye en el éxito del proyecto. Esto se presenta para dejar claro que el éxito de la gestión de proyectos y programas no son mutuamente excluyentes. Munns y Bjeirmi presentan tres factores que causan

confusión entre la gestión de proyectos y programas. El primero es el plazo. El plazo del proyecto es mucho más largo en el sentido de que no se realiza inicialmente tras la finalización del proyecto sino tras la evaluación del usuario. En segundo lugar está el establecimiento de objetivos claros. El éxito de la gestión del programa se define por el presupuesto, el cronograma y los criterios de calidad establecidos al inicio del proyecto. La rentabilidad es un objetivo del proyecto, pero el presupuesto es el principal objetivo de gestión del programa. Muchas veces, la capacidad objetiva se pierde debido a limitaciones de tiempo y presupuesto. Por último, la facilidad de medición es un factor. El presupuesto y el cronograma se pueden medir, pero la relevancia del proyecto es cualitativa y no se puede medir con claridad.

¿Qué se puede hacer entonces para acelerar un proyecto? Las técnicas eficaces de gestión de programas ofrecen un medio para planificar y controlar el desarrollo de un proyecto. Brooks advierte a los directores de programas que: “1. Existen grandes diferencias entre los de alto y bajo desempeño, 2. La composición del equipo de desarrollo puede marcar la diferencia, 3. Debe tener un plan escrito, 4.

Las especificaciones escritas son necesarias, 5. La división vertical del trabajo dará como resultado una comunicación y una comunicación radicalmente simplificadas. integridad conceptual mejorada, 6. El cambio es inevitable, lo que hace que la gestión y la planificación del cambio sean imperativas (Verner, Overmeyer y McCain, 1999)”. Para que la gestión del programa sea eficaz, debe anular todas estas precauciones presentadas por Brooks Las buenas técnicas de gestión de programas incluyen una estimación precisa de costos, programación de recursos, comunicación, coordinación de usuarios y aceptación de riesgos.

### **APLICAR RECURSOS ADICIONALES**

En teoría, la aceleración equivale a desplazar todo hacia la izquierda (Firesmith, 2015). Esto incluiría financiación. La estimación de costos considera los empleados a tiempo completo o parcial necesarios para completar cada tarea dentro de un proyecto, soporte de gestión de programas, herramientas de desarrollo de software, hardware, espacio de oficina/laboratorio e instalaciones de prueba, como estufas. Esto es siempre una estimación. Es común que los gerentes de programas agreguen un 20% adicional a la estimación de costos para cubrir incógnitas. El aumento de la financiación permite disponer de más recursos en forma de mano de obra, equipos o instalaciones.

llevado a la práctica. Se cree que más personas y más equipos aceleran la entrega. Esto puede proporcionar algún beneficio dentro de una organización con una fuerza laboral adecuadamente capacitada. Muchas organizaciones tienen una arquitectura jerárquica que consta de muchos niveles de gestión. Las arquitecturas jerárquicas tienen sentido para trabajos de naturaleza lineal. Existen muchos desafíos con las arquitecturas jerárquicas, como el flujo de comunicación, que ocurre de arriba hacia

abajo. La comunicación de arriba hacia abajo significa que “la innovación se estanca, el compromiso se resiente y la colaboración es prácticamente inexistente (Morgan, Forbes, 2015)”.

Las organizaciones planas poseen procesos más optimizados con menos gastos generales y de gestión organizativos. Menos gastos generales organizacionales y estructura de gestión conducen a procesos de toma de decisiones más rápidos, lo que tiene el potencial de ahorrar tiempo y dinero.

Además, la implementación organizacional de procesos estandarizados, como documentación consistente y procesos repetibles, son elementos de una buena organización que permiten un control de configuración adecuado que da como resultado un mejor programa. Las organizaciones planas presentan sus propios desafíos en el sentido de que los empleados que han estado allí por más tiempo tienden a ser vistos como camarillas de alto nivel que pueden causar desafíos de comunicación y colaboración (Morgan, Forbes, 2015).

## **INCORPORACION DE TECNOLOGIA MADURA**

Una excelente manera de acelerar el desarrollo de un proyecto es aprovechar la tecnología madura. La tecnología madura se puede aprovechar tanto dentro del propio proyecto como como colaborador del mismo. Por ejemplo, se pueden utilizar herramientas CAD para generar dibujos en los que las impresoras 3D puedan imprimir piezas en lugar del mecanizado real de piezas. La impresión 3D de piezas tiene el potencial de reducir drásticamente los costos y programar las demandas. Otro ejemplo implica el uso de una tecnología madura dentro de un proyecto. Un trabajo reciente de una universidad sobre diseño basado en conjuntos ha brindado al gobierno la capacidad de desarrollar un Memorando de Objetivos del Programa

(POM) de manera más efectiva y eficiente al reducir la cantidad de horas de trabajo necesarias para iterar a través de las diversas combinaciones dentro del espacio de la solución (Singer, Doerry , y Buckley, 2009).

### **3.1.4 MAYOR COMUNICACIÓN**

Una mayor comunicación entre la organización, los gerentes de programas, los clientes y los miembros individuales del equipo puede acelerar el desarrollo. La comunicación entre el cliente, los gerentes de programas y los miembros individuales del equipo es fundamental para entregar un proyecto que cumpla con el uso previsto por el cliente. La comunicación organizacional de la intención estratégica brinda enfoque a los gerentes de programas y a los miembros individuales del equipo. Los objetivos organizacionales difieren de los del proyecto individual en que las organizaciones tienden a centrarse en el retorno de la inversión, la satisfacción del cliente y el desarrollo de productos de calidad; por lo tanto, el apoyo y el compromiso organizacional son fundamentales para acelerar un proyecto. Una creencia común es que la colaboración aumenta la comunicación y, por lo tanto, acelera el desarrollo al reducir la cantidad de reuniones, llamadas telefónicas y revisiones

### **3.1.5 CLARA DEFINICION DEL REQUISITO**

El requisito a través de los comentarios del cliente es fundamental para definir el proyecto. La falta de participación de los clientes representó el cincuenta por ciento de los proyectos fallidos según un estudio de Verner (Verner, Overmeyer y McCain, 1999). Los comentarios tempranos y frecuentes de los clientes generan confianza en que el proyecto entregará la capacidad necesaria. Los requisitos deben ser claros, concisos y alcanzables. Los proyectos que no se planifican adecuadamente, que poseen requisitos vagos o que no tienen resultados claros

corren un mayor riesgo de fracaso que aquellos que sí poseen estas características.

### **3.1.6 ACEPTACIÓN DEL RIESGO**

Las organizaciones aceleran los proyectos aceptando más riesgos programados en áreas como certificación, pruebas, verificación y validación. Hay muchos programas en los que tales riesgos no serían aceptables pero sí factibles. Hay ocasiones en las que se puede evitar el riesgo con un impacto mínimo. Considere una plataforma aérea tripulada. Las plataformas aéreas tripuladas tienen requisitos muy específicos de prueba y certificación basados en los peligros asociados con la pérdida de vidas. Actualmente, las plataformas aéreas no tripuladas deben seguir los mismos requisitos que las plataformas aéreas tripuladas. Dado que no existe ningún riesgo relacionado con la pérdida de vidas con una plataforma aérea no tripulada, esos requisitos de prueba y certificación podrían no aplicarse, lo que ahorraría tiempo y dinero al programa.

### **3.1.7 QUITAR BARRERAS**

Finalmente, eliminar las barreras a la aceleración es fundamental dentro del desarrollo de proyectos.

Muchas políticas y procesos se aplican a un proyecto pero no a otro. Por ejemplo, los sistemas no tripulados no deberían pasar por las mismas pruebas y evaluaciones de vuelo que un sistema tripulado. Muchos componentes de seguridad simplemente no se aplican a un sistema no tripulado. Al eliminar estos requisitos de prueba innecesarios, un proyecto de sistemas no tripulados se

puede acelerar y al mismo tiempo proporcionar el beneficio adicional de ahorrar costos.

La tecnología patentada desarrollada por la industria presenta un desafío en el sentido de que cualquier modificación requerida para actualizar esa tecnología en el futuro requiere que el propietario de la tecnología realice la modificación. Esto afecta tanto al costo como al cronograma en el sentido de que la tecnología patentada supone modificaciones con un costo adicional y un aumento del cronograma. Al desarrollar proyectos con estándares de sistemas abiertos, se reduce la dependencia del desarrollador original para realizar modificaciones, lo que potencialmente reduce el costo y el tiempo de finalización.

En la década de 1970, las universidades se centraron más en el proceso de descubrimiento y menos en el proceso de transición de la tecnología a la industria. No fue hasta 1980, cuando el Congreso aprobó la Ley Bayh-Dole, que las universidades cambiaron su enfoque hacia la transición de la ciencia y la tecnología (C&T) a la industria y las organizaciones gubernamentales (Pub. L. 96-517, 1980). Para abordar muchas de las desventajas asociadas con la transición, muchas universidades establecieron Oficinas de Transición Tecnológica (OTT). Estas OTT proporcionaron recursos para asociaciones externas y oportunidades de innovación. La importancia de esta ley radica en el hecho de que antes de la Ley Bayh-Dole, los contratos y subvenciones federales de financiación de investigaciones obligaban a los inventores a ceder al gobierno federal las invenciones que realizaban utilizando fondos federales.

Después de la promulgación, las universidades, las pequeñas empresas o las instituciones sin fines de lucro pueden reclamar la propiedad de una invención. El propósito de una OTT es establecer acuerdos entre la academia, la industria y el

gobierno para fomentar el intercambio de información y proteger esa información. Estos acuerdos pueden adoptar la forma de Memorando de Acuerdo (MOA), Memorando de Entendimiento (MOU) y Acuerdos de Investigación y Desarrollo Colaborativo (CRADA).

### **3.2 IMPACTOS NEGATIVOS AL ACELERAR**

Hay muchos aspectos positivos asociados con la aceleración de proyectos, pero también hay muchos aspectos negativos. Como siempre, la entrega de un producto al cliente más rápido de lo previsto siempre puede tener un impacto positivo en la aceleración. Los aspectos negativos tienden a tener los mayores efectos en los plazos de entrega y el producto de una organización, como plazos de experimentación más largos de lo esperado y retrabajo adicional debido a fallas inesperadas.

#### **3.2.1 INCLUSIÓN**

El libro de FP Brooks, *The Mythical Man-Month*, analiza la idea de que la incorporación de mano de obra no se acelera hasta que ha transcurrido un tiempo en el que la capacitación genera productividad adicional. Brooks da tres explicaciones de por qué es aplicable la “Ley Brooks” (Verner, Overmeyer y McCain, 1999). Con la incorporación de nueva mano de obra surge la necesidad de capacitación adicional necesaria para que esos empleados adicionales se pongan al día y se conviertan en un miembro productivo del equipo. Si la mano de obra adicional es en forma de empleados con experiencia en la materia (PYME) específica del proyecto, entonces la contribución de los empleados se produce rápidamente. Esto no considera la inclusión. La inclusión requiere tiempo adicional, ya que el empleado debe convertirse en un colaborador confiable del equipo. Las PYME tienden a dominar y, a veces, tardan en ser adoptadas en el equipo.

Si la mano de obra adicional no es una PYME sino un empleado junior, la inclusión puede ocurrir más rápido ya que el empleado junior tiende a escuchar y aprender en lugar de dominar. La contribución al proyecto lleva más tiempo, ya que el empleado junior debe recibir formación y asesoramiento para ponerse al día en el desarrollo del proyecto.

### **3.2.2 DIVISION DE TRABAJO**

Hay momentos en que cambia la división del trabajo/tareas. Es posible que algunos trabajos no se puedan dividir para que otros los apoyen. Hay casos en los que una tarea no se puede realizar en paralelo o dividirse entre los miembros del equipo. Un ejemplo lo podemos demostrar con el fracaso del Mars Climate Orbiter (MCO) de la NASA, en el que se utilizaron unidades métricas para codificar el software terrestre. Dado que el programa era innovador porque su desarrollo implicaba mucha incertidumbre y complejidad, la dirección decidió reutilizar tantos componentes como fuera posible de programas anteriores y en curso. Esto permitió reducir el tiempo, el costo y la incertidumbre. La integración siguió siendo un problema. Los empleados que trabajan en la integración del sistema de navegación también trabajaron en otro proyecto. Esto generó confusión entre los ingenieros que trabajaban en la MCO y finalmente provocó su fracaso. Este fracaso podría haberse evitado si los miembros del grupo o los expertos en la materia se hubieran comunicado entre ellos sobre los diferentes proyectos. Además, debido a la aceleración, muchas de las revisiones formales e informales críticas fueron ignoradas (Sauser, Reilly y Shenhar, 2009).

### **3.2.3 COMUNICACIÓN**

Hay un aumento en la comunicación que debe ocurrir debido a la incorporación de mano de obra. Acelerar un proyecto, la mayoría de las veces, disminuye la comunicación, ya que las decisiones se toman muy rápidamente con poca participación de los desarrolladores o clientes.

Para acelerar, una organización debe agilizar el proceso de decisión para eliminar barreras. Esto también se puede observar en el fracaso de la MCO de la NASA (Sauser, Reilly y Shenhar, 2009). La falta de comunicación creó confusión y frustración entre los miembros del equipo. A menudo se ignoraba la experiencia en la materia (Informe a la Comisión Presidencial sobre el transbordador espacial.

Accidente del Challenger, 1986). Había poco conocimiento sobre las innovaciones reales que se estaban agregando al programa y los desafíos de integración que iban a ocurrir debido a la reutilización de componentes.

La comunicación con los clientes es fundamental para lograr un producto con la capacidad deseada. El fracaso de la MCO de la NASA demostró cómo el rápido desarrollo y la falta de comunicación con el cliente son fundamentales para el éxito de la misión (Sauser, Reilly y Shenhar, 2009). Si las necesidades del cliente no están completamente establecidas al inicio del proyecto, es probable que el producto no satisfaga esas necesidades. A menudo, se sacrifica la capacidad dentro de un proyecto para acelerarlo. La comunicación continua permite la posibilidad de desarrollar un plan para ofrecer capacidad limitada con el fin de acelerar la entrega.

### 3.2.4 FACTORES SOCIALES

También hay factores sociales relacionados con la incorporación de mano de obra. Tuckman sugiere que las incorporaciones al equipo hacen que el ciclo de tormenta, normalización y conformidad se repita (Tuckerman, 1993). Se necesita tiempo para que el equipo vuelva a ser un equipo productivo y cohesionado. Keyton sugiere que los equipos más eficaces están compuestos por al menos “tres o más miembros que interactúan entre sí para realizar una serie de tareas y lograr un conjunto de objetivos comunes” (Keyton, 2002).

La composición y el tamaño del equipo han sido fuente de muchos estudios. Wheelan afirma que los grupos con aproximadamente ocho miembros son los más productivos (Wheelan, 2009).

Verner y sus colegas estudiaron veinte grandes proyectos de software veinticinco años después de la publicación de la Ley de Brooks y dedujeron que muchas de las Leyes de Brook todavía se mantienen (Verner, Overmeyer y McCain, 1999). La retención y incorporación de mano de obra desempeñan un papel importante en la finalización oportuna de los proyectos. Aún así, hay otros efectos que presenta la adición de mano de obra, que incluyen baja moral y continuidad inconsistente del personal, ya sea por reasignación o rotación. Hsai, Hsu y Kung intentaron revisar la Ley de Brooks. Dedujeron que el tiempo es un factor crítico para agregar mano de obra. La sola adición de mano de obra hace que el proyecto sea más costoso, pero no siempre retrasa el proyecto. Si las tareas se realizan de forma secuencial, la mano de obra adicional no acelerará el desarrollo de un proyecto. Sin embargo, ¿qué pasaría si se incorporara mano de obra adicional al principio del proceso de desarrollo con experiencia y las tareas pudieran realizarse en paralelo en lugar de

secuencialmente? El cronograma óptimo del proyecto para incorporar mano de obra adicional de inmediato es un tercio y la mitad del cronograma del proyecto (Hsai, Hsu y Kung).

Aumentar los horarios de trabajo diarios sin aumentar la fuerza laboral con recursos adicionales en forma de personas puede provocar agotamiento y disminución de la moral de los empleados. Crawford sugiere que con la aceleración vienen los errores, ya que los empleados tienen la tarea de simplificar o eliminar tareas. Además, los empleados tienden a “ignorar, posponer o manejar mal” la incertidumbre basándose en programas de desarrollo agresivos (Swink, 2003).

### **3.2.5 PRUEBA Y EVALUACIÓN**

Muchas veces, para acelerar un esfuerzo se ignora la prueba y la evaluación. Muchos suponen que la reutilización de componentes elimina la necesidad de realizar pruebas y evaluaciones continuas, pero en muchos casos esa es una suposición incorrecta. La reutilización de componentes puede acelerar un proyecto en términos de componentes individuales, pero no aborda los problemas de integración que surgen del diseño de un nuevo sistema. A menudo, la reutilización de componentes requiere diseño, desarrollo y pruebas adicionales para garantizar que exista una funcionalidad adecuada. En el caso de MCO, esta falta de integración, verificación y validación se debió a restricciones de costos y resultó en el fracaso final del proyecto (Sausser, Reilly y Shenhar, 2009). Entre otros obstáculos para la aceleración están los requisitos de certificación eso podría eliminarse, lo que ahorraría al programa tanto costos como cronograma. La tecnología patentada presenta un desafío en el sentido de que las modificaciones necesarias para actualizar esa tecnología en el futuro requieren que el propietario de la tecnología

realice la modificación. Esto afecta tanto al costo como al cronograma en el sentido de que la tecnología patentada supone modificaciones con un costo adicional y un aumento del cronograma.

### **3.2.6 GERENTES DE PROGRAMA SIN EXPERIENCIA**

Los gerentes de programas sin experiencia con poca o ninguna experiencia en planificación de proyectos, desarrollo de cronogramas, integración de proyectos, comunicación de prioridades y tareas presentan problemas a los proyectos que intentan acelerar o incluso seguir un cronograma normal. Los gerentes de programas sin experiencia carecen del control necesario para acelerar y tienden a microgestionar su fuerza laboral para cumplir con los plazos programados.

El modelo de estrategia de afrontamiento de Pitch, Lock y De Meyer (Pitch, Loch y De Meyer, 2002) identifica dos estrategias de afrontamiento: de aprendizaje y de instrucción. La estrategia de aprendizaje se basa en la respuesta del equipo a la variación y la capacidad del director del programa para planificar la variabilidad en la ejecución objetivo.

Este enfoque conduce al aumento de las pruebas y la implementación de la capacitación de ingenieros para abordar la incertidumbre futura (Sauser, Reilly y Shenhar, 2009). La estrategia instruccionalista sostiene que el proyecto tiene poca incertidumbre y tiende a seguir el enfoque de diseño incremental sin una verdadera modularidad basada en esfuerzos anteriores. Crawford sugiere que los gerentes

de programas son “menos capaces de predecir o controlar los efectos de objetivos de tiempo agresivos en varios pasos de un proyecto altamente complejo (Crawford, 2004)”.

### **3.3 ENTONCES ¿PORQUE ACELERAR?**

El ritmo del desarrollo tecnológico es exponencial (Kurzweil, 2001). Los procesos de adquisición actuales no siempre permiten este rápido salto tecnológico. Para seguir el ritmo de los competidores y satisfacer las necesidades de las partes interesadas, se debe considerar la implementación acelerada de nueva tecnología.

En el entorno fiscalmente restringido actual, buscar nuevas formas de aumentar la innovación nos permite mantenernos al día con las tendencias globales. La incorporación de ciencia y tecnología desarrollada académica o industrialmente en programas dirigidos por el gobierno está diseñada para aprovechar el conocimiento de todas las fuentes, acelerar el desarrollo y reducir los costos y riesgos asociados con el desarrollo.

Algunas ventajas incluyen una inversión interna reducida y un ciclo de desarrollo a largo plazo reducido.

Karagozoglu y Brown asocian la aceleración de un proyecto con la motivación de la fuerza laboral de modo que la fuerza laboral tenga un "sensor de prioridad tal que preste mayor atención a las actividades del proyecto y haga un uso más eficaz de los recursos del proyecto (Karagozolgu.N. & Brown, 1993)". . La aceleración también influye en la calidad del personal que apoya el proyecto, aumentando así la importancia del liderazgo y el enfoque de gestión del proyecto.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías, la capacidad de compartir información entre organizaciones, programas, proyectos, etc., permite a la fuerza laboral adquirir y evaluar información rápidamente y con poca demora. La necesidad de múltiples reuniones y/o revisiones ha disminuido con la disponibilidad de comunicar información rápidamente por correo electrónico, share-drive, buzón y una multitud de otros mecanismos. Con la facilidad de acceso a los datos o la información, se pueden tomar decisiones informadas rápidamente con muy poco impacto en el cronograma del proyecto.

Las personas, la disponibilidad de información y el desarrollo de nuevas tecnologías permiten que los proyectos entreguen las soluciones necesarias a las manos del cliente lo más rápido posible.

## **FILTRO DE MODELOS MULTIPLES**

Los filtros de seguimiento utilizados para filtrar el ruido asociado con un sensor están ampliamente disponibles en varios tipos diferentes para elegir. Dos de estas clases de filtros son el filtro de modelo único y el filtro de modelo múltiple (MM). Algunos ejemplos de un filtro de seguimiento de modelo único son los filtros alfa-beta, alfa-beta-gamma y Kalman. Cuando dos o más de estos tipos de filtros de seguimiento de modelo único se ejecutan en paralelo, se forma un filtro de modelo múltiple. Un filtro de múltiples modelos proporciona un rendimiento mejorado para rastrear objetos en maniobras en comparación con un filtro de modelo único.

Los filtros MM constan de dos o más filtros que combinan sus estimaciones de alguna manera para lograr una estimación mejorada.

El trabajo realizado por Bondugula estableció el hecho de que los filtros de Kalman tienen la capacidad de pronosticar el cronograma, el costo y el rendimiento del programa (Bondugula, 2009). Las ecuaciones que gobiernan el filtro de Kalman se pueden encontrar en el Apéndice A. Al utilizar el filtro de Kalman, el usuario debe hacer suposiciones sobre el movimiento dinámico asociado con el programa.

Por ejemplo, un sistema de sensores supone un movimiento lineal para objetos en el espacio que se mueven en línea recta a una velocidad constante (CV). Un único filtro Kalman que utiliza un modelo de movimiento CV presentará un retraso cuando se produzca la aceleración. Otro modelo que se puede utilizar es un modelo de aceleración que representa una tasa de cambio exponencial. El modelo de giro constante sería útil cuando la maniobra de un objeto consiste en una velocidad y un régimen de giro aproximadamente constantes. Otros modelos, como el polinómico, la aceleración de Singer y la aceleración media adaptativa, se pueden encontrar en Li et al. (Li, 2003).

Una mejor estimación permite un aumento en el número de objetos maniobrables y no maniobrables que se pueden rastrear y una reducción en el tiempo de reacción (o retraso). Múltiples filtros de seguimiento de modelos mejoran el seguimiento de objetos tanto maniobrables como no maniobrables. Lo que distingue un diseño de filtro de seguimiento de modelo múltiple superior de un diseño de filtro deficiente es la velocidad con la que la lógica de conmutación detecta y luego responde a una maniobra de objeto reorganizando los pesos para que coincidan con la nueva configuración dinámica del objeto. La mayoría de los diseños de filtros de modelo múltiple (MM) incorporan una matriz de conmutación de Markov (MSM) como parte de su lógica de conmutación. Esta matriz, cuyos valores se seleccionan generalmente ad hoc, tiene un impacto significativo en el tiempo de respuesta de la lógica de conmutación ante una maniobra brusca del objeto.

No existe ningún método "óptimo" para seleccionar valores con los que rellenar esta matriz. Un conjunto de valores que puede proporcionar un "buen" rendimiento de seguimiento frente a un tipo de objeto específico puede no producir un "buen" rendimiento frente a un tipo de objeto diferente. Dado que no se puede saber de antemano qué tipo de objeto se encontrará en cada escenario, el diseñador del filtro se enfrenta a un dilema de diseño. A pesar de esto, la estructura del filtro MM ha ganado una amplia aceptación dentro de la comunidad de seguimiento académico (Patente de EE. UU. No. 7030809, 2005).

Los filtros de modelo múltiple (MM) a menudo utilizan una matriz de conmutación de Markov (MSM) en su diseño de lógica de conmutación, al igual que el modelo múltiple interactivo (IMM). Un MSM es una matriz  $N \times N$ , donde  $N$  es el número de modelos en el banco de filtros que consta de probabilidades de conmutación,  $p_{ij}$  for  $i, j = 1 \dots N$ . Las probabilidades,  $p_{ij}$ , en el MSM tienen las siguientes propiedades:

- El elemento diagonal,  $p_{ii}$ , representa la probabilidad condicional de que el estado del sistema permanezca en el estado  $i$  después de la siguiente transición.
- Los elementos fuera de la diagonal  $p_{ij}$  representan la probabilidad condicional de que el sistema pase al estado  $j$  después de la siguiente transición dado que actualmente se encuentra en el estado  $i$ .
- La suma de elementos en cada fila del MSM debe ser la unidad.

No existe una forma óptima de elegir los valores para el MSM. Diferentes valores elegidos para el MSM producirán resultados diferentes. Aunque generalmente se acepta que los elementos diagonales en el MSM deben estar "cerca" a la unidad, no existen otras restricciones que puedan usarse para seleccionar los

elementos para el MSM de alguna manera "óptima". [sun1] Ningún conjunto de valores funcionará bien para todas las trayectorias; lo que funciona bien en un escenario puede funcionar mal en otro. Incluso pequeños cambios en  $p_{ij}$  pueden afectar los resultados del filtro. Cada diseñador debe elegir sus propios valores de alguna manera ad hoc. Cuando se ha seleccionado un conjunto de valores, se ejecutan numerosas simulaciones por computadora y los resultados se comparan con ejecuciones de otras combinaciones de valores.

El MSM tiene un impacto significativo en la rapidez con la que el mecanismo de conmutación detecta y luego responde a un cambio rápido en el cronograma o el costo del programa. Lo que distingue un diseño de filtro superior de un diseño de filtro deficiente es la velocidad con la que la lógica de conmutación detecta y luego responde al cambio de cronograma o costo reorganizando las ponderaciones para que coincidan con el nuevo cronograma o estimación de costo. Los filtros MM han ganado una amplia aceptación entre la comunidad de seguimiento de objetivos y los desarrolladores de sistemas en otros campos. Blair presentó el sistema de filtro de modelo de sesgo múltiple interactivo para el seguimiento. Este sistema incorporó coeficientes de conmutación de Markov para su lógica (Patente de EE. UU. No. 5325098, 1994). En una patente posterior, múltiples filtros Kalman alimentan un circuito de actualización de probabilidad del modelo (Patente de EE. UU. No. 5214433, 1993). Los valores de la función de probabilidad de transición o cambio del modelo de Markov proporcionan la probabilidad de saltar o cambiar de modelos en el momento  $K-1$  al modelo  $t$  en el momento  $K$ .

Los valores de las probabilidades de transición del modelo determinados como parte del diseño general del sistema son análogos a la elección de valores para los valores iniciales de los parámetros del modelo predeterminados.

En general, el filtro de Kalman es un estimador de estado óptimo para sistemas monomodo siempre que esté disponible un modelo de movimiento exacto para la dinámica del objeto. El algoritmo IMM fue diseñado para permitir una mayor precisión al rastrear un objeto en maniobra. El algoritmo IMM permite que dos o más filtros de sistema monomodo se ejecuten en paralelo (es decir, modelos de movimiento CV). El IMM se describirá con más detalle en las siguientes secciones.

#### 4.1 MODELO DE VELOCIDAD CONSTANTE (CV)

El vector de estado para el modelo de velocidad constante (CV) viene dado por: la ecuación de estado que describe el modelo CV está dada por

$$X_{k+1} = \Phi_k X_k + w_k \quad (4-2)$$

y la ecuación de medición está dada por

$$Z_k = H X_k + v_k. \quad (4-3)$$

La matriz de transición de estado para el modelo CV se define como

$$\begin{matrix} A & B & B \end{matrix} \quad (4-4)$$

$$\Phi_k = (B \ A \ B)$$

$$B \ B \ A$$

dónde

$$A = 1 \ T) \quad (4-5)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}$$

T = intervalo de tiempo y

$$B = 02x2. \quad (4-6)$$

El vector de ruido del proceso (6x1),  $w_k$ , tiene una matriz de covarianza diagonal de bloques dada por  $QCV$ .

H se define como la matriz de medición estándar,

$$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H = [0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0] \end{matrix} \quad (4-7)$$

$$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0$$

## 4.2. MODELO MULTIPLE INTERACTUDO

En general, el filtro de Kalman es un estimador de estado óptimo para sistemas de modelo único siempre que esté disponible un modelo de movimiento exacto para la dinámica del objeto. Muchos han intentado ampliar el filtro de Kalman para proporcionar estimaciones de estado óptimas para múltiples sistemas modelo. El algoritmo IMM fue diseñado para permitir una mayor precisión al rastrear un objeto en maniobra. El algoritmo IMM permite que dos o más filtros se ejecuten en paralelo. Normalmente, los filtros de velocidad constante (CV), aceleración constante (CA) y velocidad de giro constante (CTR) se utilizan junto con un algoritmo IMM. El algoritmo IMM que utiliza dos modelos se muestra en [Figura 4-2](#). En este estudio, se emplean dos filtros de Kalman, utilizando dos modelos de movimiento CV. Un modelo de movimiento CV emplea un ruido de proceso bajo y el segundo emplea un ruido de proceso alto. Este cambio en el ruido del proceso permitirá al IMM estimar el estado futuro del programa con menos retraso o error durante un cambio o maniobra rápido.

### 3.3 MRCO CONCEPTUAL

Se utilizará un diseño de investigación de simulación para desarrollar conocimientos sobre el comportamiento del costo, el cronograma y el desempeño en la aceleración del programa. Esta investigación busca identificar el límite al que se puede acelerar un programa o proyecto antes de que el director del programa comience a aceptar una cantidad inaceptable de riesgo predeterminado. Se utilizará un proceso de deducción para construir el modelo, mientras que se utilizará un proceso de inducción para analizar los resultados. Como positivista/empirista, esta investigación buscará comprender los procesos del mundo real de manera que se puedan implementar controles para comprender el riesgo asociado con la aceleración. La principal diferencia entre esta investigación y la investigación identificada en la Sección 4.0 es el uso del modelo múltiple interactivo (IMM) para predecir el cronograma y el costo futuro y la matriz de conmutación de Markov (MSM) para evaluar el umbral de riesgo predeterminado. Se hará una suposición sobre la tolerancia al riesgo. Los valores de tolerancia al riesgo consistirán en 5, 10, 15, 20, 25 y 50 por ciento. El IMM se utilizará para estimar o pronosticar costos, cronograma y desempeño del programa.

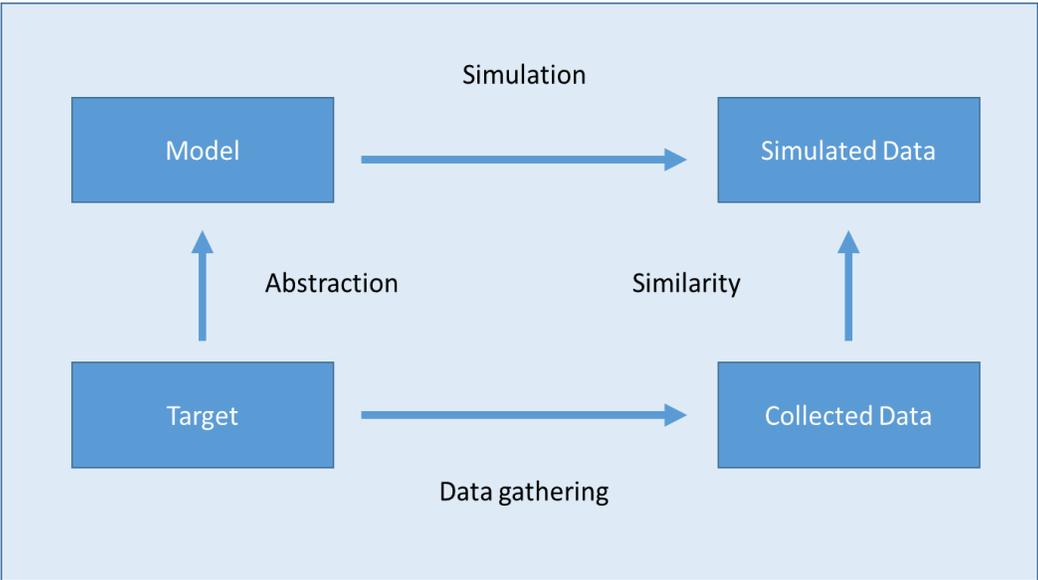


Figura 5-1. Lógica del modelado estadístico como método.

**Figura 5-1** articula el diseño de investigación de simulación que se utilizará en el estudio cuantitativo. A continuación se analizará una descripción de la metodología de investigación.

“Simulación significa manejar un modelo de un sistema con entradas adecuadas y observar las salidas correspondientes”. (Bratley, Fox y Schrage, 1987) Como se describe en **Figura 5-1**, los investigadores desarrollan un modelo sobre supuestos procesos. El modelo podría existir en forma de programa informático o ecuación estadística. Se ejecuta el modelo y se mide su comportamiento. Los datos simulados se pueden utilizar para explicación o predicción (Gilbert, Capítulo 2: Simulación como método, 2005).

Axelrod describe siete tipos diferentes de simulación en su trabajo (Axelrod, 2005). Entre ellos se encuentran la predicción, el entrenamiento, el entretenimiento, la educación, la prueba, la historia y el descubrimiento de teorías. De estos siete tipos, la predicción es el tipo de simulación alineado con esta investigación. La predicción se basa en un modelo compuesto de estructura y reglas que gobiernan esa estructura y producir un resultado (Dooley, 2002). Al comparar los resultados de diferentes estructuras y reglas de gobierno, los investigadores pueden inferir lo que podría suceder en una situación real. La validez del resultado se basa en la validez del modelo. Este es un enfoque común para las grandes organizaciones y es muy difícil modelar cambios a gran escala y comprender sus implicaciones. Los investigadores buscan predecir lo que resultará en función del cambio para poder hacer recomendaciones sobre el valor del cambio.

La simulación en la que se puede utilizar un modelo validado para evaluar el desempeño de una tarea se denomina simulación de desempeño (Dooley, 2002). Esto se puede utilizar para esfuerzos como el diagnóstico y la toma de decisiones. La incertidumbre y la aleatoriedad son evidentes dentro de cualquier organización y son inherentes a cualquier sistema. La

simulación permite a los investigadores tener en cuenta la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones mediante la simulación de Monte Carlo. La simulación Monte Carlo consta de cientos o miles de pruebas en las que cada prueba toma una muestra de la distribución de la

variable especificada. La respuesta compuesta es el agregado y se describe mediante una distribución de posibles resultados (Dooley, 2002).

Dooley, de la Universidad Estatal de Arizona, sostiene que “la simulación por computadora está ganando popularidad como enfoque metodológico para los investigadores organizacionales (Dooley, 2002)”. Continúa argumentando que la investigación basada en simulación permite a los investigadores investigar el futuro y plantearse preguntas de tipo “¿qué pasaría si?”. Por lo general, la investigación se centra en perspectivas históricas y recopila datos basados en eventos históricos para abordar preguntas como qué sucedió y por qué. Dooley presenta tres escuelas principales de práctica de simulación (ver **Tabla 5-1**).

Tipo de simulación	Descripción
Simulación de eventos discretos	Modelado de una organización en el tiempo según la disponibilidad de recursos y desencadenantes de eventos
Sistemas dinámicos	Identificar las variables clave de "estado" que definen el comportamiento de los sistemas y luego relacionar esas variables entre sí. mediante ecuaciones diferenciales acopladas
Simulación basada en agentes	Involucrar a agentes que intentan maximizar sus funciones de utilidad interactuando con otros agentes y recursos; El comportamiento está determinado por un esquema integrado que es a la vez interpretativo y orientado a la acción. naturaleza

Tabla 5-1. Tres escuelas de práctica de simulación

Los modelos de simulación de eventos discretos se utilizan mejor cuando la organización puede caracterizarse adecuadamente mediante variables y estados correspondientes (Dooley, 2002).

No es apropiado cuando las variables de estado interactúan entre sí y cambian continuamente.

Las simulaciones de eventos discretos describen sistemas discretos, estocásticos y dinámicos (Law y Kelton, 1982). Law y Kelton caracterizan la simulación de eventos discretos utilizando **Figura 5-2** abajo.

- Entidades: Objetos que componen el sistema.
- Estado del sistema: variables de estado que describen un sistema en un momento dado.
- Reloj de simulación: que indica el paso del tiempo simulado.
- Lista de eventos: lista que especifica los eventos que ocurrirán en el futuro y la hora en la que ocurrirán.
- Contadores estadísticos: para recopilar datos durante la ejecución de la simulación, para registrar el historial y analizarlo más tarde.
- Rutina de inicialización: algunos medios para preparar el modelo para una ejecución experimental
- Rutina de sincronización: subrutina que gestiona la lista de eventos.
- Rutina de evento: subrutina para cada tipo diferente de evento
- Generador de informes: informa los resultados agregados obtenidos de los contadores estadísticos.
- Programa principal: programa que coordina la actividad entre todos los demás elementos del sistema de simulación.

Figura 5-2. Simulación de eventos discretos

La simulación de dinámica de sistemas o la simulación continua se utiliza mejor cuando hay muchas variables interrelacionadas en cuestión. La dinámica de sistemas se considera un enfoque "de arriba hacia abajo" en el que se requiere un amplio conocimiento sobre el sistema y sus interacciones. Este enfoque se hizo popular en los años 1950 y posteriormente en los

1960 en trabajos de Jay Forrester (Forrester, 1961) y P. Senge (Senge, 1990), junto con la cibernética y el deseo de utilizar la teoría de sistemas en el dominio social. Forrester define la dinámica de sistemas como “el estudio de las características de retroalimentación de información de la actividad industrial para mostrar cómo la estructura organizacional, la amplificación y los retrasos interactúan para influir en el éxito de las empresas” (Forrester, 1961). Trata la interacción entre los flujos de información, dinero, pedidos, materiales, personal y bienes de capital en una empresa y la industria o una economía nacional. Es un enfoque cuantitativo y experimental para relacionar la estructura organizacional y la política corporativa con el crecimiento y la estabilidad industrial (Forrester, 1961).

En las simulaciones dinámicas de sistemas, las variables no necesitan ser entidades o estados específicos.

Las variables no necesariamente tienen que ser consistentes en la forma en que se eligen. Una vez definidas las variables, se deben definir relaciones para caracterizar la relación entre variables. Las variables de estado a menudo se denominan sumideros y las relaciones entre sumideros a menudo se denominan flujos. Los flujos se definen como la primera derivada de la variable de estado, definiendo así la tasa de cambio entre una variable de estado y otra.

En 1997, Sterman et al. documentaron su trabajo sobre mejora organizacional en Analog Devices Company (Sterman, Repenning y Kofman, 1997). La empresa, Analog Devices, estaba atravesando un proceso de cambio total en la gestión de calidad. Sterman presentó el primer caso que representa lo que sucedió con Analog Device y su exitoso programa de reducción de desperdicios en la fabricación. El éxito en la reducción de residuos en la fabricación de productos generó un exceso de capacidad para la empresa. Esto obligó a la empresa a despedir trabajadores y, finalmente, eliminar el programa de reducción de residuos.

La simulación basada en agentes se utiliza mejor cuando el sistema se modela como un conjunto de agentes operados mediante un esquema en el que interpretan el mundo y las interacciones con los demás. Las simulaciones basadas en agentes se centran en el

aprendizaje y la adaptación. Este es un enfoque “de abajo hacia arriba” en el que las variables/agentes y su conectividad o interacciones se conocen sin conocimiento del comportamiento agregado a mayor escala. La simulación basada en agentes proviene de la inteligencia artificial (IA).

La dinámica de sistemas y la simulación de eventos discretos difieren de la simulación basada en agentes en que la simulación basada en agentes se centra en el comportamiento colectivo de una organización versus variables independiente. Por tanto, el comportamiento se produce por acciones paralelas y simultáneas de muchas variables frente a una variable. Este tipo de sistemas se denominan auto organizados (Dooley, 2002).

Los sistemas auto organizados pueden conducir a comportamientos emergentes que aún no han sido presenciados.

Hay dos cuestiones que se deben considerar al desarrollar una simulación basada en agentes. El primero es el hecho de que es difícil evaluar cambios estructurales y de comportamiento en modelos basados en agentes debido al comportamiento emergente subyacente de las variables. La segunda cuestión es que el investigador debe decidir si favorece la complejidad del modelo o su validez. Por complejidad del modelo se entiende que a medida que el modelo se vuelve más complejo, es menos comprensible y, además, menos válido (Dooley, 2002).

La investigación con simulación está en su infancia en comparación con la mayoría de los otros métodos de investigación.

Las computadoras no se inventaron hasta las décadas de 1940 y 1950, y el acceso a ellas con fines de investigación no se produjo hasta finales de la década de 1960. La investigación en simulación tiene sus raíces en la investigación organizacional. En la década de 1960, Cyert y March simularon el comportamiento de una empresa (Harrison, *The Concept of Simulation in Organizational Research*).

Algunas de las primeras simulaciones por computadora se realizaron en el marco del proyecto Manhattan. Gilbert y Troitzsch también forjaron el camino a seguir para la investigación de simulación en las ciencias sociales (Gilbert & Troitzsch, *Simulación para el científico social*,

2005). Gilbert y Troitzsch sostienen que la simulación proporciona valor como herramienta para formalizar la teoría en las ciencias sociales. Computadora

La simulación proporciona una ventaja sobre los modelos matemáticos tradicionales para la investigación interesada en procesos y mecánica en lugar de la asociación entre variables (Gilbert & Troitzsch, Simulación para el científico social, 2005).

Kevin Dooley resumió los tres métodos de simulación en su libro Companion to Organizations publicado en 2002 (Dooley, 2002). Dooley concluye que la simulación permite a los investigadores mirar hacia el futuro en lugar de evaluar el pasado. La simulación también brinda al investigador la oportunidad de realizar mejoras en el rendimiento en un entorno de laboratorio. De los tres métodos de simulación, la simulación de eventos discretos es el más común y la organización se representa mejor como una máquina con incertidumbre en forma de variables aleatorias. La dinámica de sistemas se utiliza mejor para propósitos específicos que para problemas genéricos. Los modelos de dinámica de sistemas que son de naturaleza más abstracta rara vez aportan valor al investigador. Los modelos basados en agentes se utilizan mejor para responder preguntas que tienen los investigadores organizacionales. Este campo está en su infancia y existe una curva de aprendizaje. Dooley sugiere que se debe prestar atención a la alineación de la teoría y el modelo; prueba de código; validación de modelo y resultados; diseño experimental riguroso; y análisis estadístico apropiado y riguroso (Dooley, 2002).

Rose, Spinks y Canhoto describen las fortalezas y debilidades de la investigación con simulación en su libro. La fortaleza clave es “su capacidad para apoyar la investigación de fenómenos que son difíciles de investigar por medios más convencionales”. (Rose, Spinks y Canhoto, Management Research: Applying the Principles, 2015) Según Davis, “la capacidad de mostrar resultados de procesos que interactúan a lo largo del tiempo o la interacción de procesos donde los datos empíricos son limitados”. (Davis, Eisenhardt y Bingham, 2007) Un ejemplo son los estudios de correlación. Algunos de los desafíos de la investigación con simulación consisten en

la tergiversación del modelo, errores en el desarrollo del programa informático y la generalización.

Lo que se propone en esta investigación es el uso de simulación de eventos discretos. Se seguirán los pasos básicos de la investigación de simulación descritos por Gilbert y Troitzsch y se describen en Figura (Gilbert & Troitzsch, Simulación para científicos sociales, 2005)).

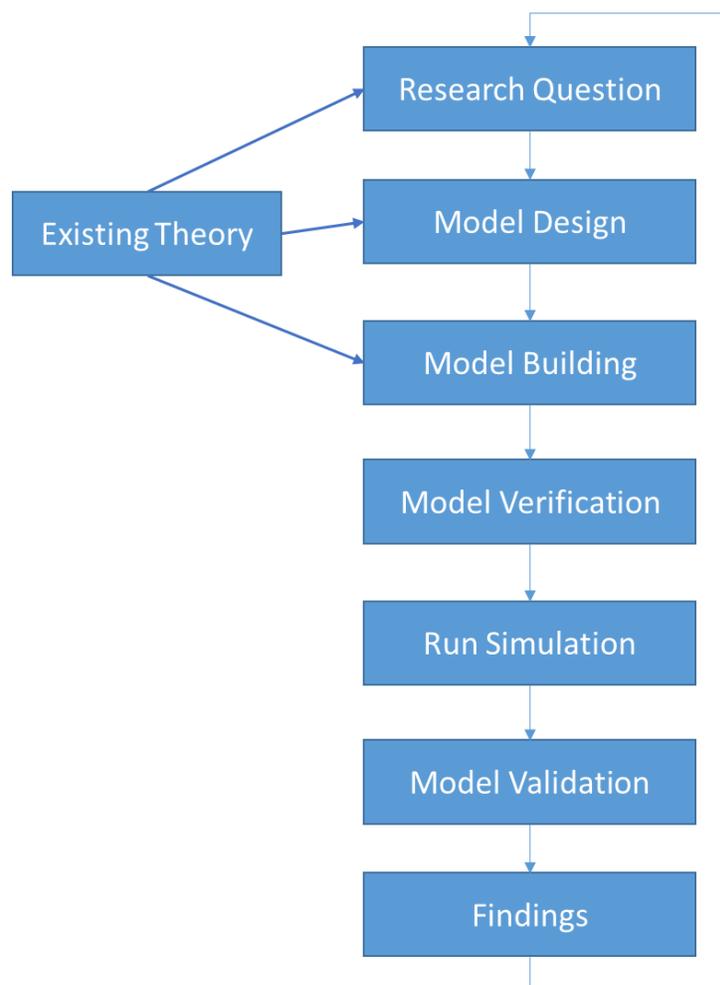


Figura 5-3. Pasos en un estudio basado en simulación

## 5.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación busca responder a las preguntas:

- a) ¿Puede el IMM predecir el costo, el cronograma y el desempeño futuros del programa?
- b) ¿Puede la matriz de conmutación de Markov (MSM) dentro de un modelo múltiple interactivo (IMM) predecir el riesgo del programa utilizando límites superiores e inferiores (ver Figura)?

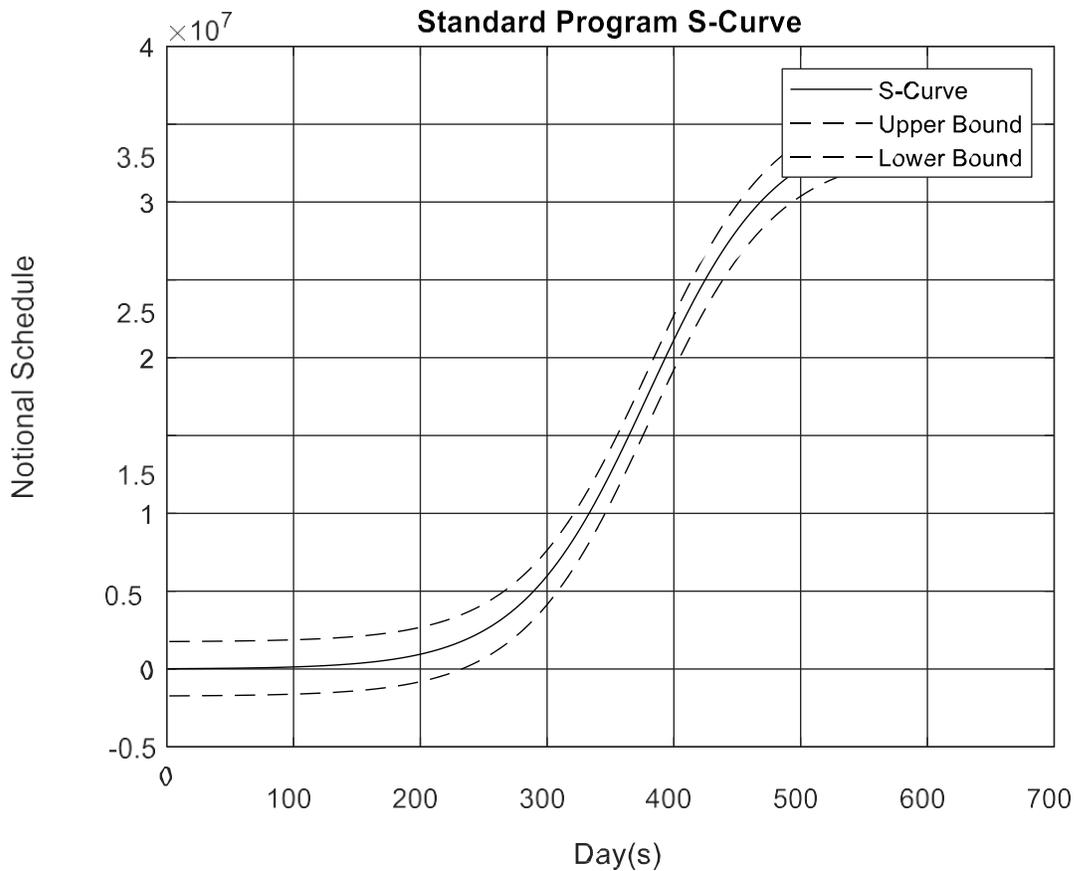


Figura 5-4. Tolerancia al riesgo

En esta propuesta de investigación, se han descrito varios parámetros de aceleración y sus posibles impactos negativos. Se supondrá que el director del programa ha determinado un método de aceleración y la cantidad de riesgo aceptable utilizando un rango de valores de riesgo (5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 50%). El MSM se utilizará para representar el riesgo

predeterminado. Se evaluarán varios valores de riesgo para determinar si los modelos CV cambian cuando se alcanza una cantidad de riesgo inaceptable.

## **5.2 DISEÑO DE MODELO**

El diseño del modelo se basará en un modelo de simulación de Monte Carlo. MATLAB es una herramienta de software desarrollada por MathWorks® para procesos iterativos de análisis y diseño. Esta es una herramienta de software de escritorio utilizada por muchos científicos e ingenieros para ejecutar simulaciones de Monte Carlo o simulaciones que requieren múltiples iteraciones. El ruido del proceso del filtro de Kalman se utilizará como mecanismo para insertar aleatoriedad en la simulación. Esta aleatoriedad será representativa de los métodos de aceleración elegidos por el director del programa. Se formulará la hipótesis de un límite superior e inferior basado en los supuestos de riesgo en los que los parámetros de aceleración y los impactos negativos hacen que el proyecto asuma demasiado riesgo (ver Figura).

### **5.2.1 SUPUESTOS BASICOS**

El objeto se define como el modelo de programa representado en el "mundo real".

El modelo de objetos que se utilizará es un modelo de desarrollo de programas y lecciones aprendidas en el desarrollo de programas.

El modelo de estimación del proyecto se desarrollará sobre la base del método supuesto de aceleración del proyecto implementado por el director del programa.

El modelo que se utilizará para esta investigación será el Modelo Múltiple Interactuante (IMM) (Bar-Shalom, Rong Li y Kirubarajan, 2001).

El IMM permite predecir el estado futuro del programa dado el estado estimado actual y el análisis de sensibilidad de los parámetros de aceleración para desarrollar las Figuras de Mérito (FOM) del modelo. Este análisis de sensibilidad será el foco del trabajo futuro.

El cronograma del programa planificado se proporciona en Figura El calendario del programa previsto muestra el número de sistemas que se

entregarán en dos años. Se ha pedido al director del programa que acelere la ejecución. Para acelerar la ejecución, el director del programa ha utilizado uno o más de los métodos de aceleración identificados en [3.1](#). El rendimiento del programa se establecerá en cero y no se evaluará ya que el programa se centra en la ejecución y no se han realizado pruebas de aceptación para estimar el rendimiento en este momento.

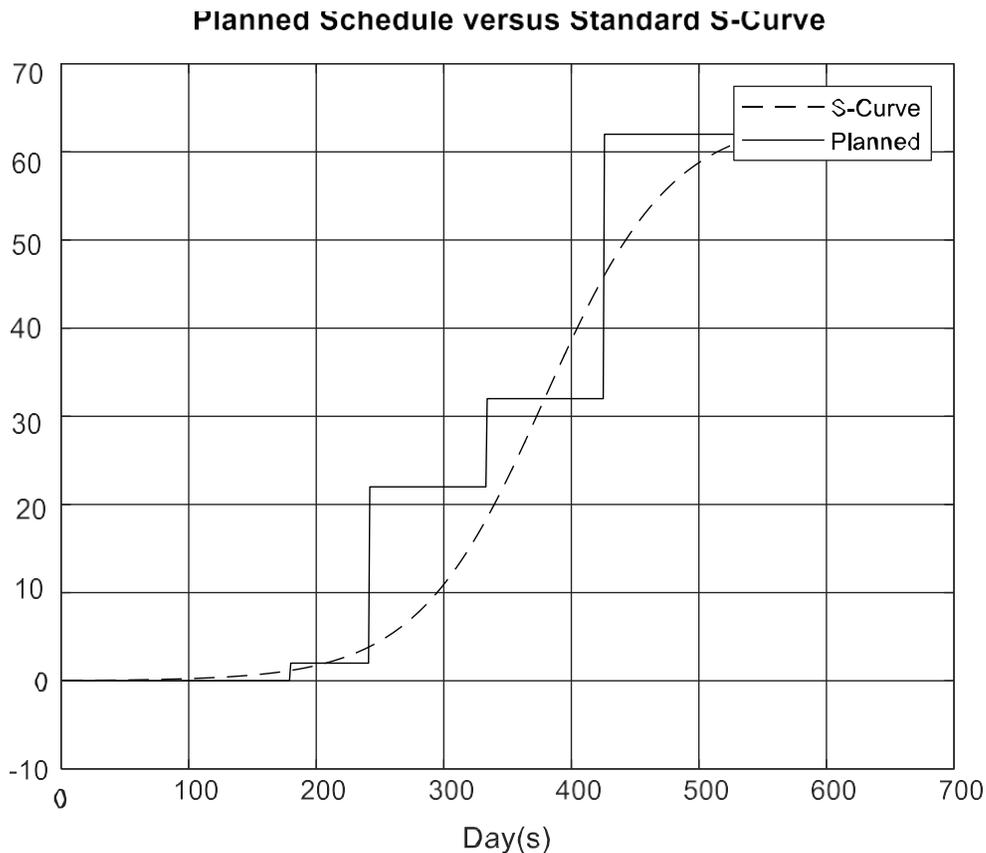


Figura 5-5. Programa planificado versus programa estándar Curva en S

El costo planificado del programa se muestra en Figura. Se espera que la aceleración afecte los costos de manera similar. Este puede ser el caso o no y será un tema para futuras investigaciones. Se puede suponer que el costo sigue un modelo de movimiento lineal como se ve en la siguiente figura. El aumento de costos ocurre inicialmente entre los días 50 y 280 y luego alcanza un estado más estable.

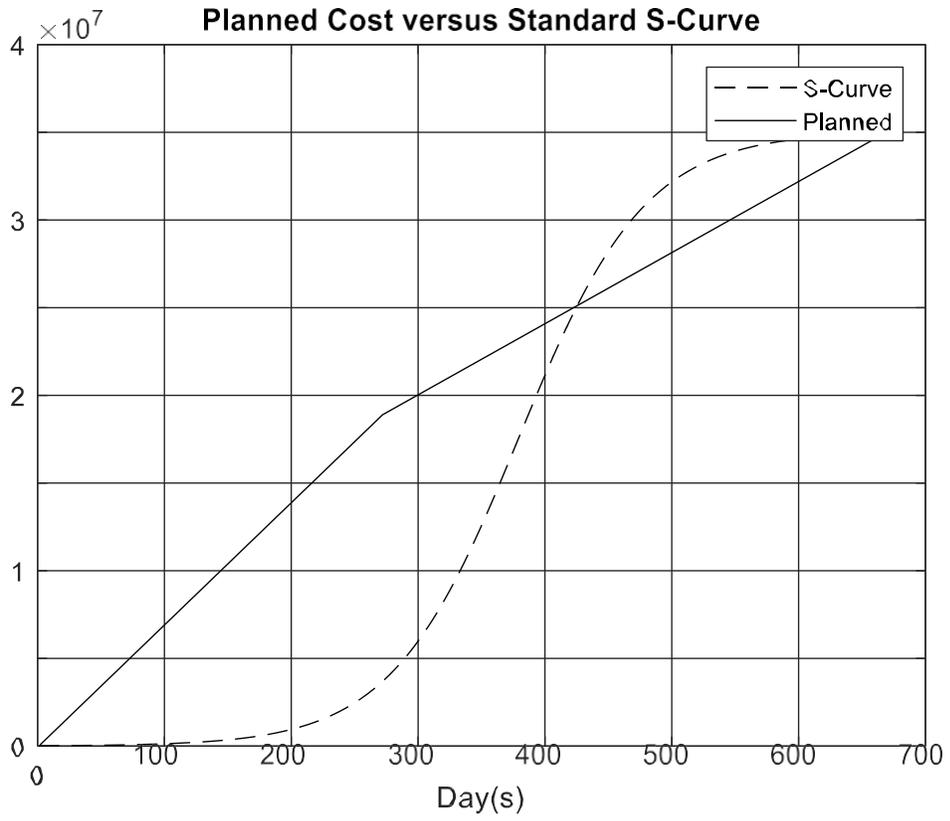


Figura 5-6. Curva S del costo planificado versus el programa estándar

### 5.3 CONSTRUCCION DEL MODELO

Para construir el modelo, el director del programa definirá una tolerancia al riesgo aceptable. Se generarán dos filtros CV con diferentes factores de ruido del proceso. Un filtro CV tendrá un valor de ruido de proceso bajo, lo que proporcionará un margen de error relativamente alto para el estado futuro del programa. El segundo filtro CV tendrá un valor de ruido de proceso alto. El alto valor de ruido del proceso permitirá que el filtro CV estime el estado actual y futuro del programa con un margen de error relativamente menor, lo que permitirá que el segundo filtro identifique cambios rápidos en el costo y cronograma planificado. Para esta investigación, los valores de Ruido de Proceso para cada filtro serán los siguientes:

$$RCV1 = .05 \text{ and } RCV2 = 2.0. \quad (5-1)$$

La tolerancia al riesgo se incorporará a la Matriz de Conmutación de Markov (MSM) y tendrá la siguiente forma:

$$\pi = \begin{bmatrix} .95 & .05 \\ .1 & .9 \end{bmatrix}. \quad (5-2)$$

Por lo tanto, se espera que el programa se ejecute de acuerdo con el costo y el cronograma planificados el 95 % del tiempo, y el primer CV proporcionará la mejor estimación del estado actual y previsto.

Existe un 5% de posibilidades de que el programa se acelere o desacelere según el costo y el cronograma planificados. Si esto sucede, el segundo CV se convertirá en el filtro principal y seguirá proporcionando una estimación del costo y el cronograma. Siguiendo con esta línea de pensamiento, si el segundo filtro CV alcanza su nivel de riesgo aceptado, el primer filtro asumirá el papel de primario y proporcionará el costo y el cronograma estimados. El error entre el cronograma y el costo del programa planificado y estimado también se calculará para verificar y validar el rendimiento del filtro.

## 5.4 VERIFICACIÓN DEL MODELO

Para verificar que el modelo de simulación esté funcionando correctamente, se utilizará la curva S. Se ejecutará una simulación de Monte Carlo que contiene la curva S como cronograma y costo del programa. El IMM se utilizará para estimar el estado actual y futuro de la curva S. Se espera que el IMM estime la curva S casi exactamente para verificar la representación precisa del programa.

Para verificar que el IMM esté modelado correctamente, los filtros Kalman del modelo de movimiento CV se proporcionan en Figura y Figura Se puede ver en [Figura 5-7](#) que la moción CV

El modelo con bajo ruido de proceso proporciona una estimación del cronograma del programa con un gran margen de error, tal como se define.

**PLANNED versus Low Process Noise CV**

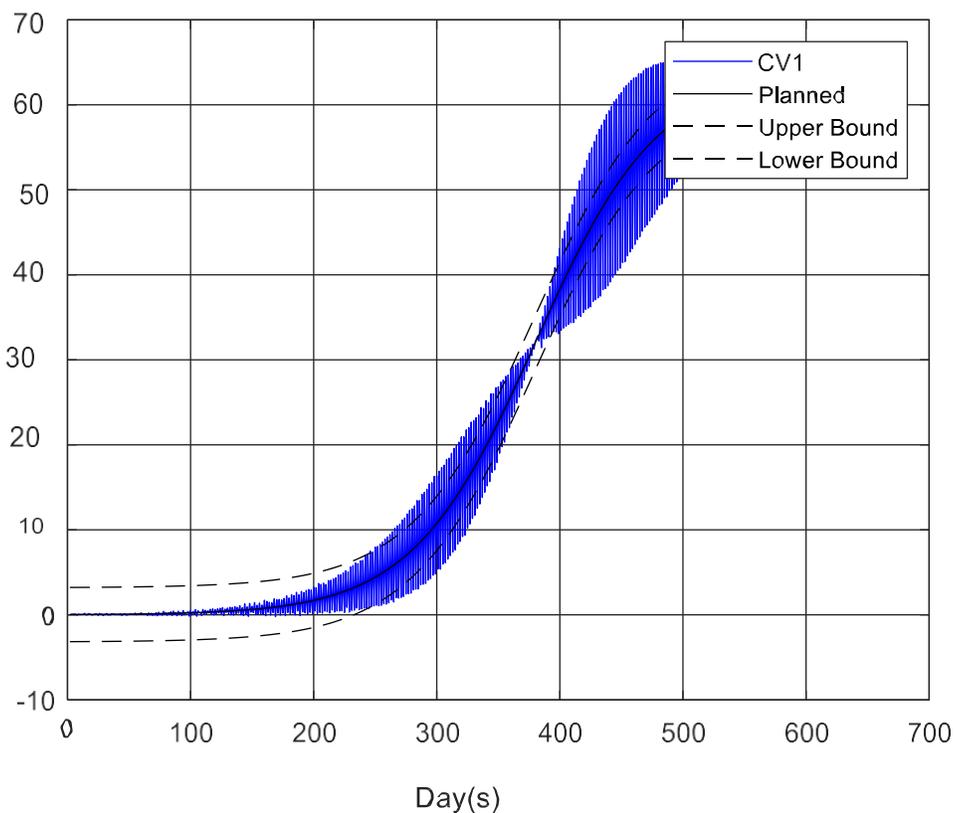


Figura 5-7. Estimación de velocidad constante (filtro de ruido de proceso bajo) de la curva S

Se puede ver en Figura que el modelo de movimiento CV con alto ruido de proceso proporciona una estimación del cronograma del programa con un bajo margen de error, como se define.

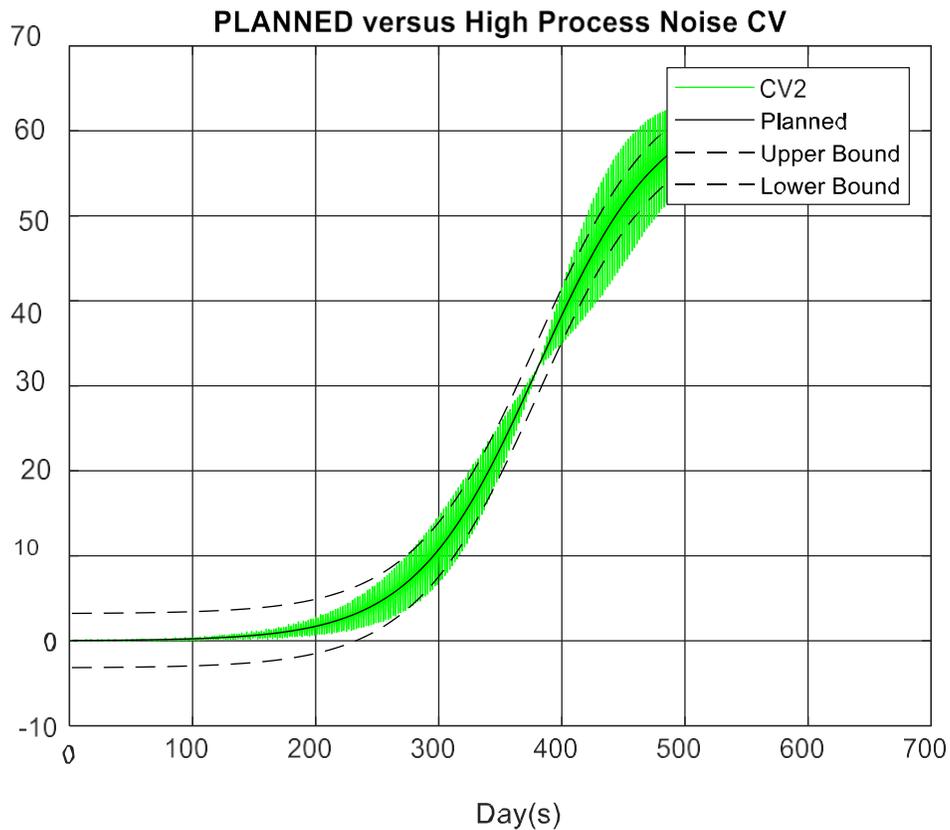


Figura 5-8. Estimación de velocidad constante (filtro de alto ruido de proceso) de la curva

Finalmente, cuando ambos filtros se ejecutan en paralelo como parte del IMM, el programa estimado tiene en cuenta una combinación de CV1 y CV2. [Figura 5-9](#) proporciona el cronograma estimado elaborado por la IMM

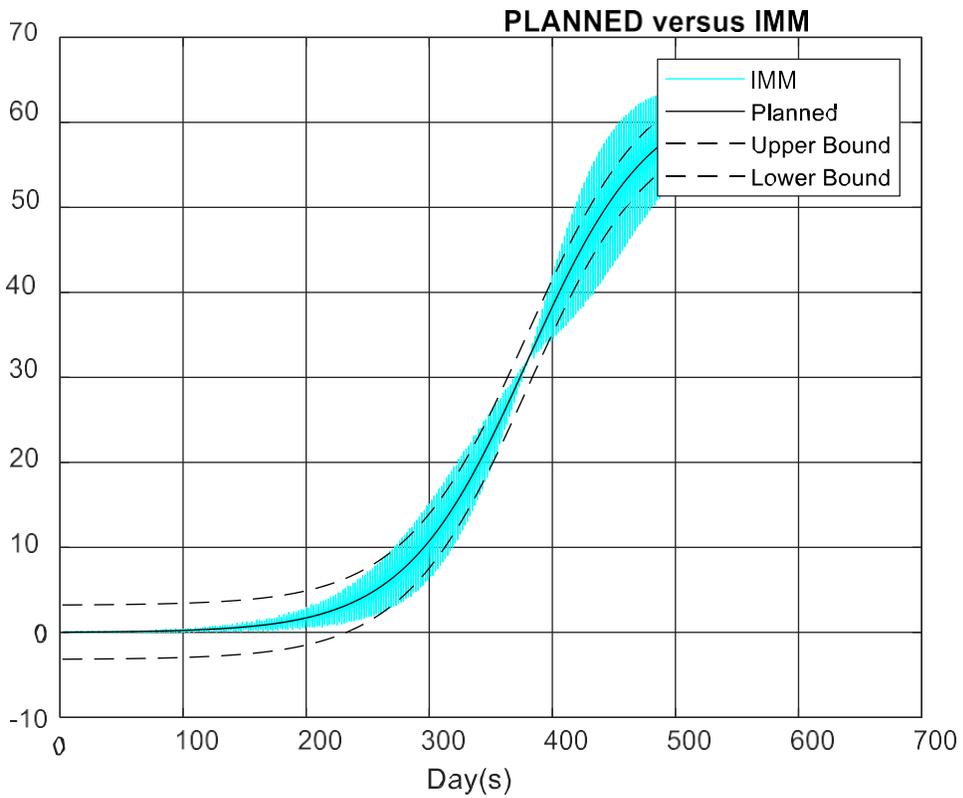


Figura 5-9. Estimación del modelo múltiple interactivo de la curva S

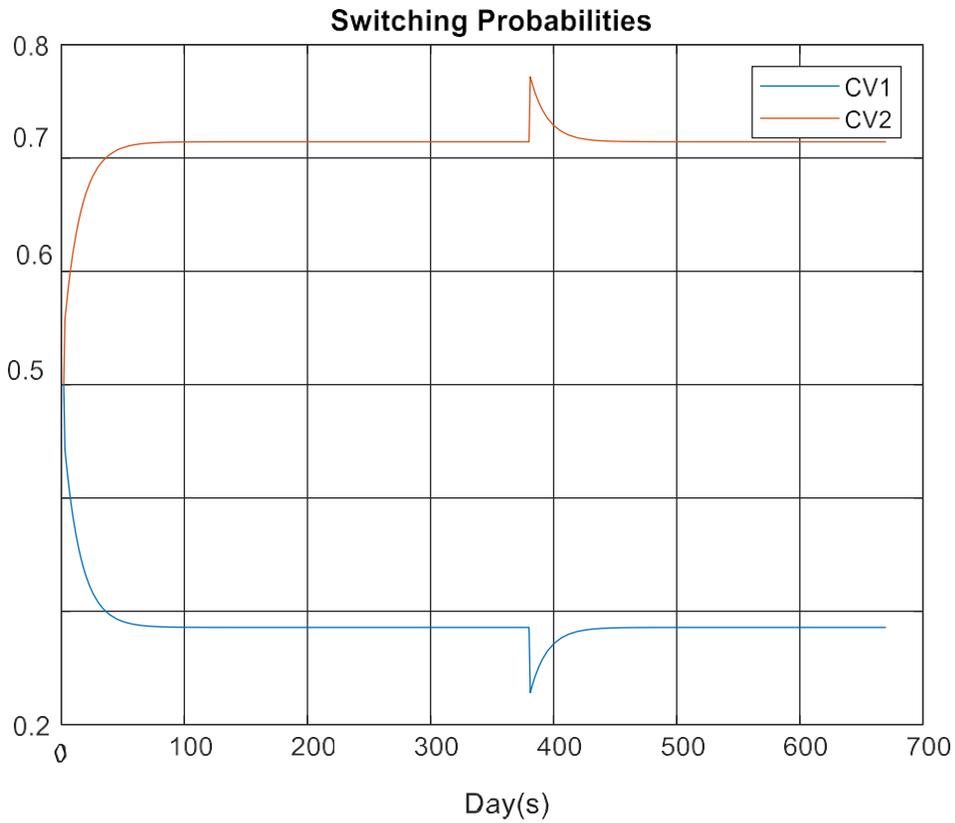


Figura 5-10. Matriz de conmutación IMM Markov

## 5.5 EJECUTAR LA SIMULACIÓN

Se ejecutarán cien simulaciones de Monte Carlo en diferentes condiciones para variar los parámetros del modelo y las condiciones iniciales. Los parámetros del modelo (es decir, el ruido del proceso) se utilizarán para simular los parámetros de aceleración, como la inserción de tecnología madura o la definición de requisitos claros. Esto se establecerá como valores de riesgo descritos anteriormente dentro del MSM y se modificará en simulaciones separadas

## 5.6 MODELO DE VALIDACION

La validación del modelo es el proceso de confirmar que el modelo es una representación precisa del objeto. La validación se puede determinar comparando el resultado de la simulación con los datos recopilados del objeto (es decir, el modelo del proyecto de desarrollo y las lecciones aprendidas) (Gilbert, Capítulo 2: La simulación como método, 2005). Hay advertencias a considerar según Gilbert:

- Es probable que tanto los procesos de modelo como de objeto sean estocásticos,
- la simulación puede depender de la ruta,
- Es posible que el modelo no reproduzca todos los aspectos del modelo de objetos, y
- El modelo podría ser incorrecto.

La validez en la investigación cuantitativa también mejora mediante el uso del análisis estadístico apropiado de los datos, el diseño de herramientas de investigación, la selección de muestras y el tamaño de la muestra. La validez debe verse como un continuo tal que siempre se puede mejorar pero nunca será 100% válida (Meshguides, sf). La validez debe considerarse en todas las etapas de la investigación. La validez se ve afectada por el diseño del instrumento que se utilizará para la recopilación de datos, los

sesgos del investigador, la eficacia y precisión en la representación del instrumento en la recopilación de datos; por lo tanto, todos estos deben considerarse al sacar conclusiones.

Es importante definir primero el razonamiento inductivo y deductivo. El razonamiento inductivo es cuando la premisa proporciona razones para respaldar alguna evidencia de la verdad de la conclusión.

Razonamiento deductivo cuando la premisa proporciona una garantía de verdad de la conclusión (Copi, Cohen, & Flage, 2006). En un argumento inductivo, las premisas son tan fuertes y verdaderas que es poco probable que la conclusión sea falsa. Para que un argumento deductivo sea válido, uno de los siguientes debe ser verdadero: o la premisa es verdadera o la conclusión proporciona un apoyo tan fuerte a la premisa que la premisa tiene que ser verdadera. Si un argumento válido tiene premisas que son verdaderas.

Se dice que el argumento es sólido. Un argumento inductivo puede verse afectado al adquirir nuevas premisas donde un argumento deductivo no puede (Argumentos Deductivos e Inductivos, sf).

La validez, tal como se aplica a esta investigación, se abordará mediante la selección de la representación adecuada del modelo de programa/objeto del modelo de desarrollo del programa real. Se ha verificado en la Sección 5.2 que la representación del modelo del programa de la curva S es una representación precisa del cronograma y el costo del programa. La curva S ha sido identificada como la representación más confiable del estado, progreso y desempeño de un proyecto (Gibbs MN, 2000). Muchos gerentes de programas utilizan curvas S para evaluar el desempeño de un proyecto, el pronóstico del flujo de efectivo, el rango de posibilidades del cronograma y la comparación de la calidad de los resultados.

El modelo de desarrollo del programa se evaluará en cinco momentos en el tiempo. Estos momentos en el tiempo deben coincidir con los parámetros de aceleración y los impactos negativos que se están estudiando. Al utilizar el modelo de desarrollo de programas real, se supone que el establecimiento de límites de aceleración se basa en atributos de estabilidad y confiabilidad.

Se supone que la validez de los límites de la aceleración se basa en la validez del contenido. La curva S ha sido validada como modelo conceptual para el modelo de desarrollo del proyecto real. Se supone que la validez de los parámetros de aceleración e impacto negativo también se basa en la validez de constructo. Como esta investigación se basa en simulación, es importante que a medida que se desarrolla el modelo de simulación, se verifique y valide continuamente (es decir, la validación se centra en el proceso de demostrar que algo es válido) contra el modelo de desarrollo real o sistema real y el S.-curva o modelo conceptual para asegurar que el modelo de simulación sea correcto (ver Figura).

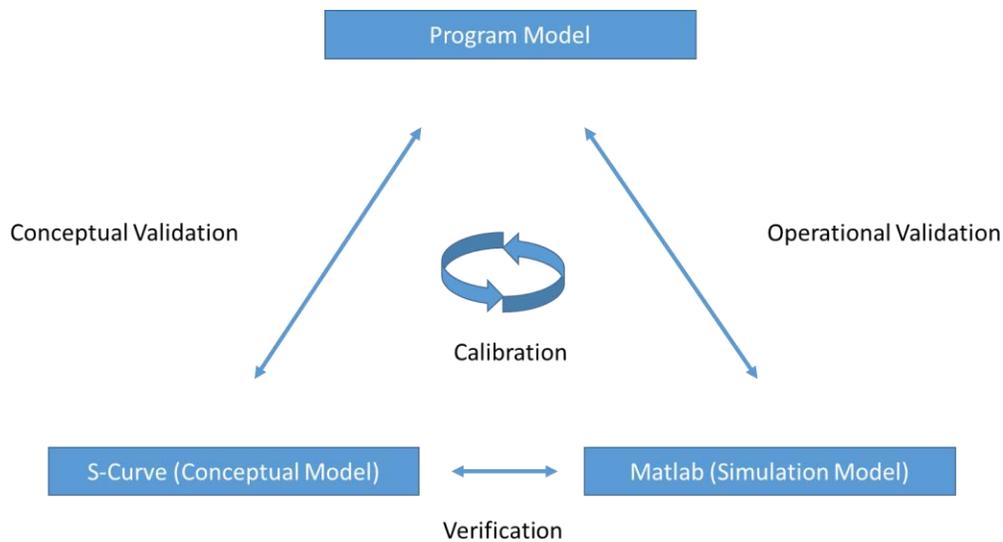


Figura 5-11. Validación y Verificación en Simulación (UJgen)

La Sección 5.4 verifica que el modelo de simulación prediga con precisión el estado futuro del cronograma y el desempeño del programa. Con la validación conceptual del modelo del programa y la curva S completa y la validación operativa del modelo del programa y del modelo de simulación completa, el modelo ahora está validado.

## **CAPITULO IV.**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Se realizará un análisis de sensibilidad para evaluar el efecto de variar los supuestos del modelo. Se supondrá que los parámetros de aceleración seleccionados y los impactos negativos han sido elegidos e implementados por el director del programa, a priori. La simulación Monte Carlo se ejecutará en MATLAB y los resultados se analizarán para determinar la sensibilidad del modelo a cambios en los valores de tolerancia al riesgo del MSM.

#### **4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El resultado del IMM se comparará con el cronograma y el costo del programa planificado. El error acumulado de cronograma y costo (es decir, la diferencia entre el programa planificado y la estimación del IMM en cada momento,  $t$ ) se utilizará para medir las diferencias entre los valores predichos por el modelo y los valores planificados. Las conclusiones se resumirán y presentarán en la disertación. Es probable que se hagan recomendaciones sobre qué parámetros, como parte del programa, deberían registrarse como parte del modelo de desarrollo del programa y que actualmente no lo están. En cambio, muchos de estos parámetros se reflejan en las lecciones aprendidas una vez finalizado el programa. La metodología, identificada en Figuras se utilizará para esta investigación basada en simulación.

#### **4.3. POBLACIÓN – MUESTRA**

Una excelente manera de acelerar el desarrollo de un proyecto es aprovechar la tecnología madura. La tecnología madura se puede aprovechar tanto dentro del propio proyecto como como colaborador del mismo. Por ejemplo, se pueden utilizar herramientas CAD para

generar dibujos en los que las impresoras 3D puedan imprimir piezas en lugar del mecanizado real de piezas.

#### **4.4. HIPÓTESIS GENERAL**

EXISTEN METODOS QUE PUEDE HACER PARA ACELERAR EL CRONOGRAMA DE UN PROGRAMA DESDE SU ESTADO ACTUAL Y CUÁL ES EL RIESGO ASOCIADO?

#### **4.5. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

#### **4.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

Esta investigación utilizó algoritmos de estimación utilizados en sistemas de sensores para estimar el estado actual y futuro de los objetos en el espacio para estimar el costo y el cronograma futuros del programa en forma de un filtro de Kalman. Más específicamente, esta investigación empleó dos filtros de Kalman en forma de modelo múltiple interactivo (IMM) para predecir el estado futuro del programa. El IMM se basa en una matriz de conmutación de Markov (MSM) predefinida para cambiar entre filtros. En esta investigación, se utilizaron los valores de MSM para representar la cantidad de riesgo que un director de programa estaba dispuesto a aceptar.

#### **4.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

Los filtros de modelo múltiple (MM) a menudo utilizan una matriz de conmutación de Markov (MSM) en su diseño de lógica de conmutación, al igual que el modelo múltiple interactivo (IMM). Un MSM es una matriz  $N \times N$ , donde  $N$  es el número de modelos en el banco de filtros que consta de probabilidades de conmutación,  $p_{ij}$

for  $i, j = 1 \dots N$ . Las probabilidades,  $p_{ij}$ , en el MSM tienen las siguientes propiedades:

#### **4.8. RECOLECCIÓN DE RESULTADOS**

El elemento diagonal,  $p_{ii}$ , representa la probabilidad condicional de que el estado del sistema permanezca en el estado  $i$  después de la siguiente transición.

Los elementos fuera de la diagonal  $p_{ij}$  representan la probabilidad condicional de que el sistema pase al estado  $j$  después de la siguiente transición dado que actualmente se encuentra en el estado  $i$ .

La suma de elementos en cada fila del MSM debe ser la unidad

## **CAPÍTULO VI: RESULTADOS**

### **5.1 PRESENTACION DE RESULTADOS**

Los resultados de este capítulo se presentarán de la siguiente manera. Primero, se presentará una descripción general de la simulación de Monte Carlo, así como el cronograma y el costo planificado versus real del programa. Los niveles de tolerancia al riesgo del director del programa se definirán e implementarán en las Secciones 6.2 a 6.7 y proporcionarán los resultados. Los resultados consistirán en el cronograma y el costo del programa planificado versus la estimación del modelo múltiple interactivo (IMM) del cronograma y el costo del programa, la matriz de conmutación de Markov (MSM) del IMM, el error asociado con la estimación del IMM versus el cronograma y el costo del programa planificado.

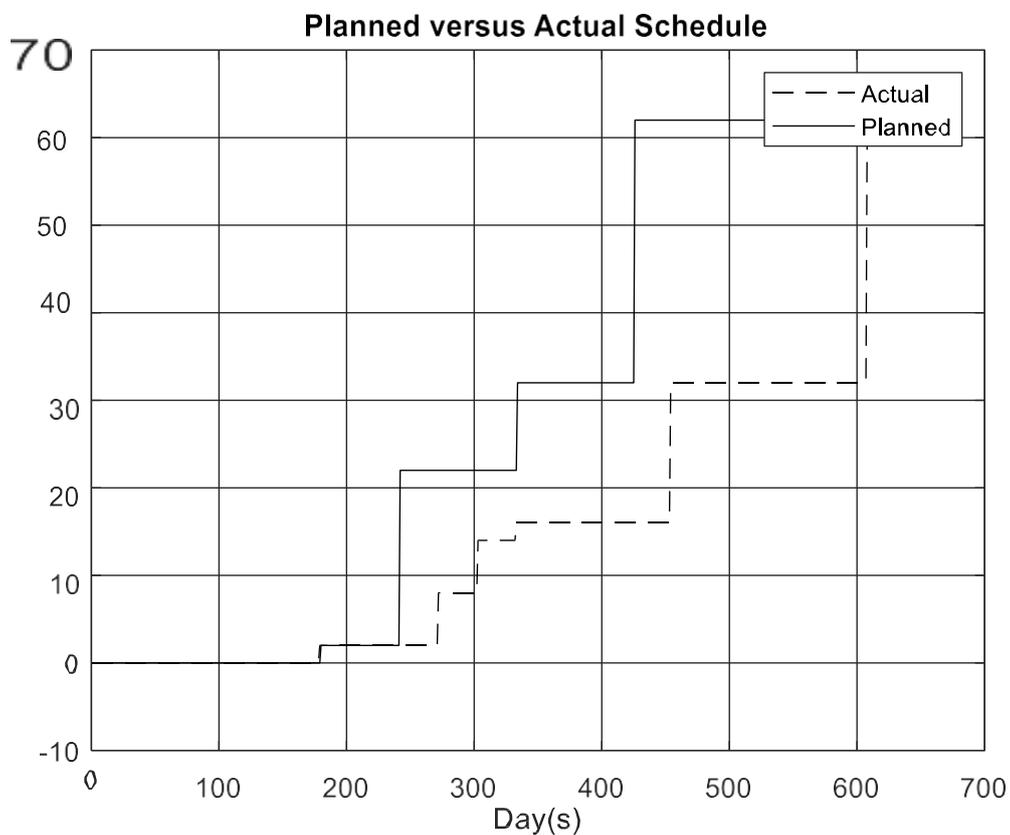
### **6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SIMULACIÓN DE MONTE CARLO**

La simulación se ejecutará utilizando la herramienta MATLAB de MathWorks®. El costo y el cronograma planificado y real del programa se convertirán de Microsoft Excel a un archivo de datos .mat que se puede cargar en MATLAB. El IMM se codificará en MATLAB utilizando dos modelos de movimiento CV en forma de dos filtros de Kalman. El ruido de proceso para cada filtro CV se definirá de modo que un CV contenga un valor de ruido de proceso bajo y el otro CV contenga un valor de ruido de proceso alto. El MSM representará la variable aleatoria en la simulación y representará la tolerancia al riesgo aprobada por el director del programa. Los valores oscilarán entre el 5% y el 50%.

Recordemos que el calendario del programa previsto muestra el número de sistemas que se entregarán en dos años. Después de los primeros 180 días, se pide al director del

programa que acelere la entrega. Para acelerar la ejecución, el director del programa ha utilizado uno o más de los métodos de aceleración identificados en la Sección 3.1.

**Figura 6-1** muestra las entregas reales basadas en el intento de aceleración de los administradores del programa. Inicialmente, el programa permanece según lo previsto hasta aproximadamente el día 240. En este punto, el programa permanece en estado estable sin aceleración. Esto se presta a cuestionar si el programa ha alcanzado un nivel de riesgo indeseable.



**Figura 6-1. Calendario del programa planificado versus real**

Figura 6-2 proporciona el costo planificado del programa versus el costo real del programa. Existe la tendencia a esperar un aumento de los costos asociados con la aceleración. Se puede observar que se mantiene el coste planificado.

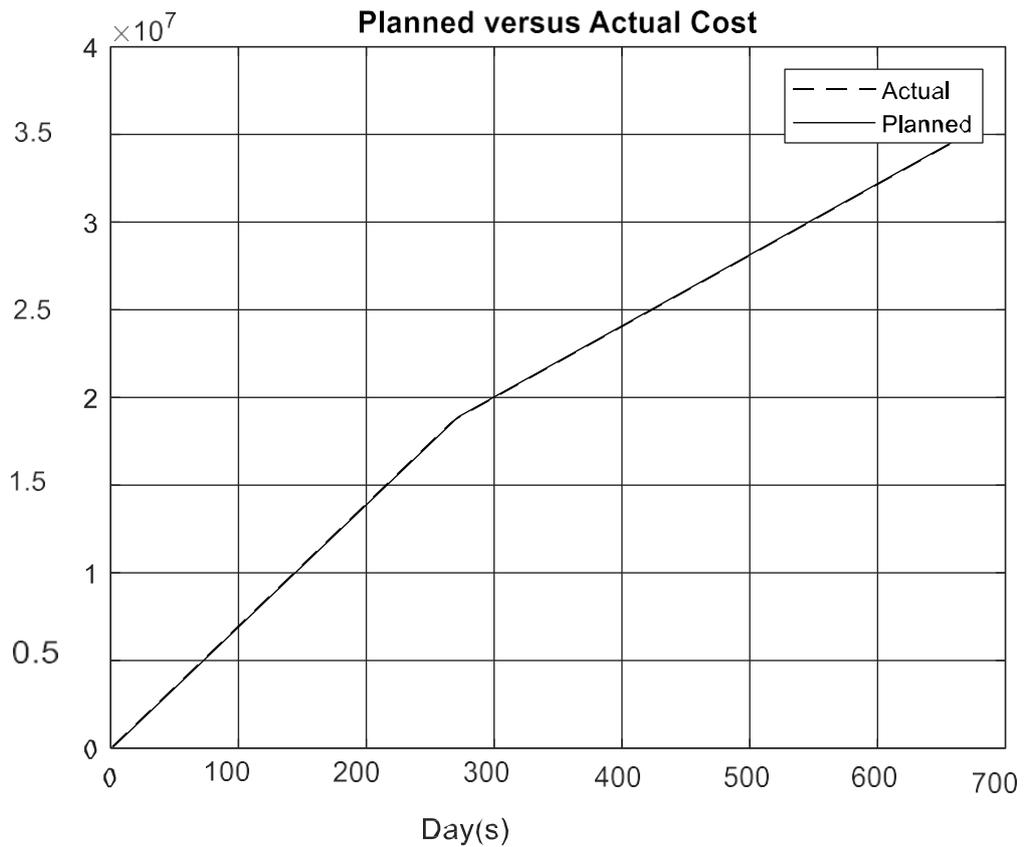


Figura 6-2. Costo planificado versus costo real del programa

Para comprender la tolerancia al riesgo, se deben determinar los márgenes de error y compararlos con nuestro cronograma y costo planificados. Para calcular los límites superior e inferior, el cronograma planificado en cada momento,  $t$ , se multiplica por el nivel de riesgo deseado por el director del programa para cada momento,  $t$ . La salida se suma al cronograma planificado para determinar el límite superior y se resta del cronograma planificado para crear el límite inferior.

**Figura 6-3** proporciona un ejemplo del límite superior e inferior para el cronograma planificado suponiendo una tolerancia al riesgo del 5%.

## PLANNED SCHEDULE AND RISK TOLERANCE

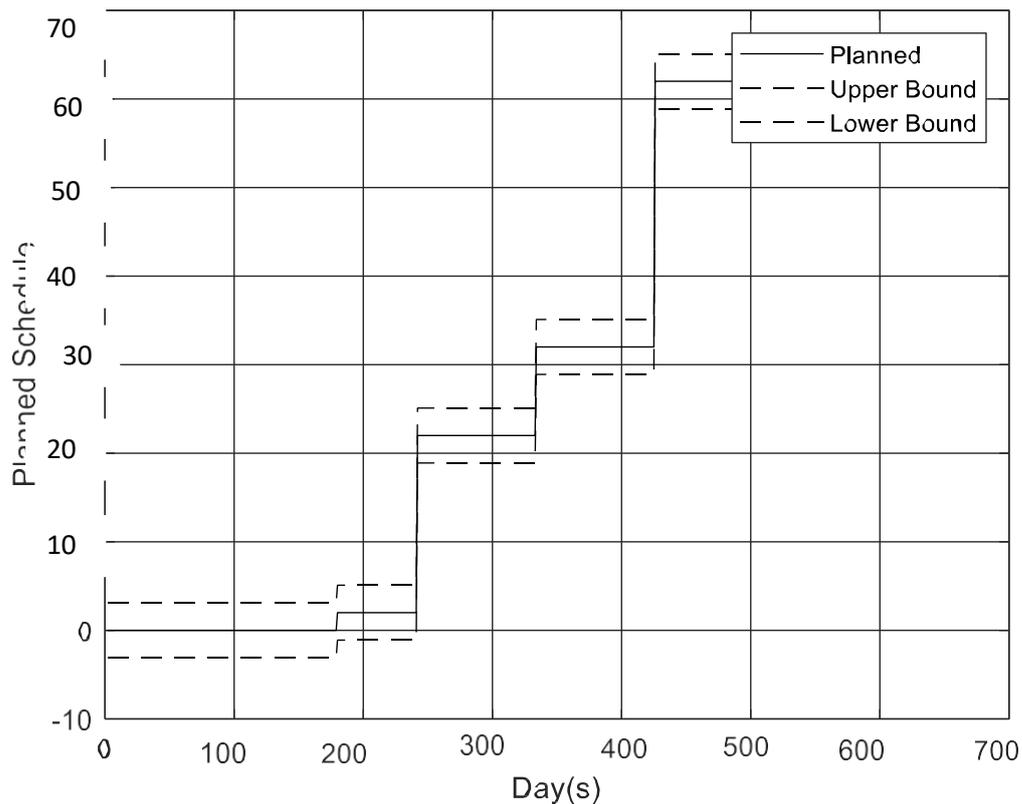


Figura 6-3. Calendario planificado con 5% de tolerancia al riesgo

Las siguientes secciones examinarán las siguientes tolerancias de riesgo:

- Caso 1: 5% de tolerancia al riesgo
- Caso 2: 10% de tolerancia al riesgo
- Caso 3: 15% de tolerancia al riesgo
- Caso 4: 20% de tolerancia al riesgo
- Caso 5: 25% de tolerancia al riesgo
- Caso 6: 50% de tolerancia al riesgo

### 6.1 CASO 1 – ASUMIR 5% DE RIESGO PARA EL PROGRAMA Y EL COSTO

Para el Caso 1, el director del programa ha asumido una tolerancia al riesgo del 5% tanto para el cronograma como para el costo. Para hacerlo, primero debemos configurar los valores de MSM de la siguiente manera:

$$\Pi = \begin{bmatrix} .95 & .05 \\ .02 & .98 \end{bmatrix}. \quad (6-1)$$

La primera fila del MSM reflejará el deseo del director del programa de una tolerancia al riesgo del 5%. Por lo tanto, el valor de la primera fila y la primera columna será 0,95. Esto significa que en cada momento, t, hay un 95% de probabilidad de que el primer filtro CV prediga con precisión el cronograma y el costo del programa futuro. Cuando ocurre el tiempo, t, en el que la estimación futura tiene una precisión inferior al 95%, el modelo cambiará al segundo filtro CV. El segundo filtro CV seguirá prediciendo el cronograma y el costo con una tasa de precisión del 98%. Si la estimación tiene una precisión inferior al 98%, el modelo volverá al primer filtro CV. Los valores para la segunda fila del MSM se eligieron al azar según las limitaciones de los datos. Los enfoques alternativos serán el foco de un estudio futuro.

El número de veces que el modelo cambia proporciona una indicación a los administradores de programas de que el cronograma o costo futuro previsto del programa ha excedido la tolerancia al riesgo definida. La tolerancia al riesgo se computa determinando el 5% del cronograma planificado.

Ver Figura. Esto le da al director del programa una representación visual del riesgo.

## PLANNED SCHEDULE AND RISK TOLERANCE

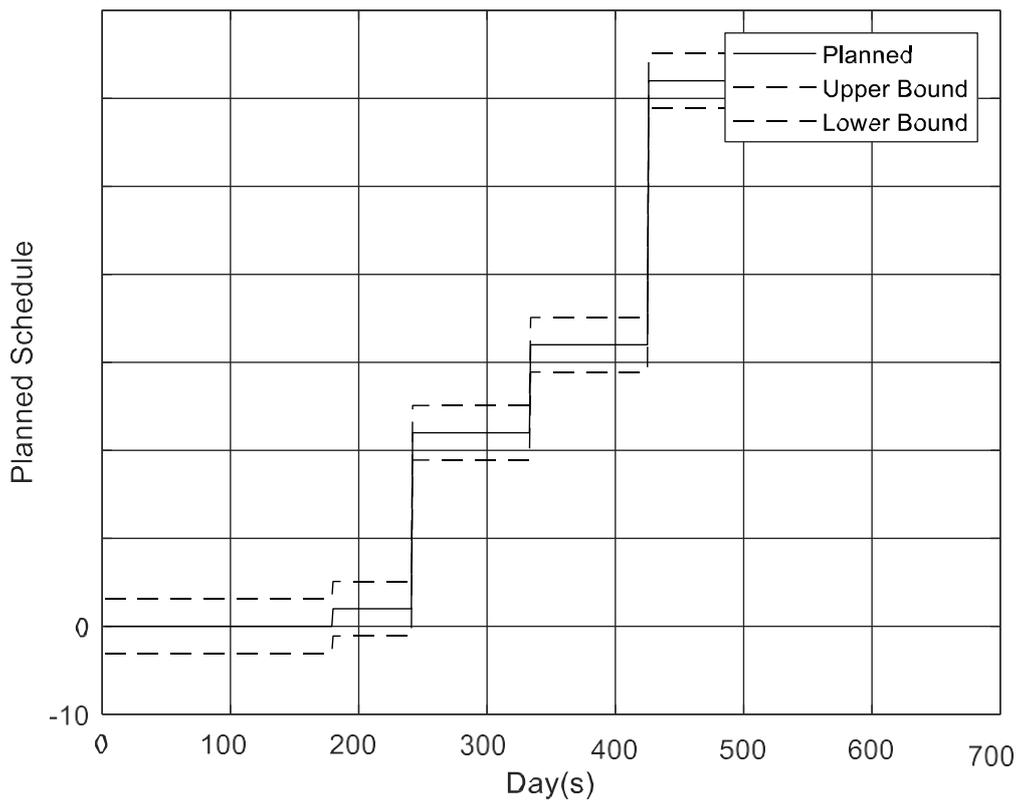


Figura 6-4. Calendario planificado con 5% de tolerancia al riesgo

La comparación entre el IMM y el cronograma planificado se presenta en **Figura 6-5**. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado. El día 190, el cronograma planificado indica que se planea entregar 2 sistemas. El número real de entregas en el día 190 es 2. Ahora examine el día 240 en **Figura 6-5**. La entrega prevista es 22, pero la entrega real sigue siendo 2. Por lo tanto, el programa no se ha acelerado sino que en realidad se está desacelerando. Se puede observar que el valor real del día 240 es menor que el límite inferior; por lo tanto, el programa ha asumido más del 5% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. Esta lógica puede continuar examinando las siguientes fechas: 340 y 450.

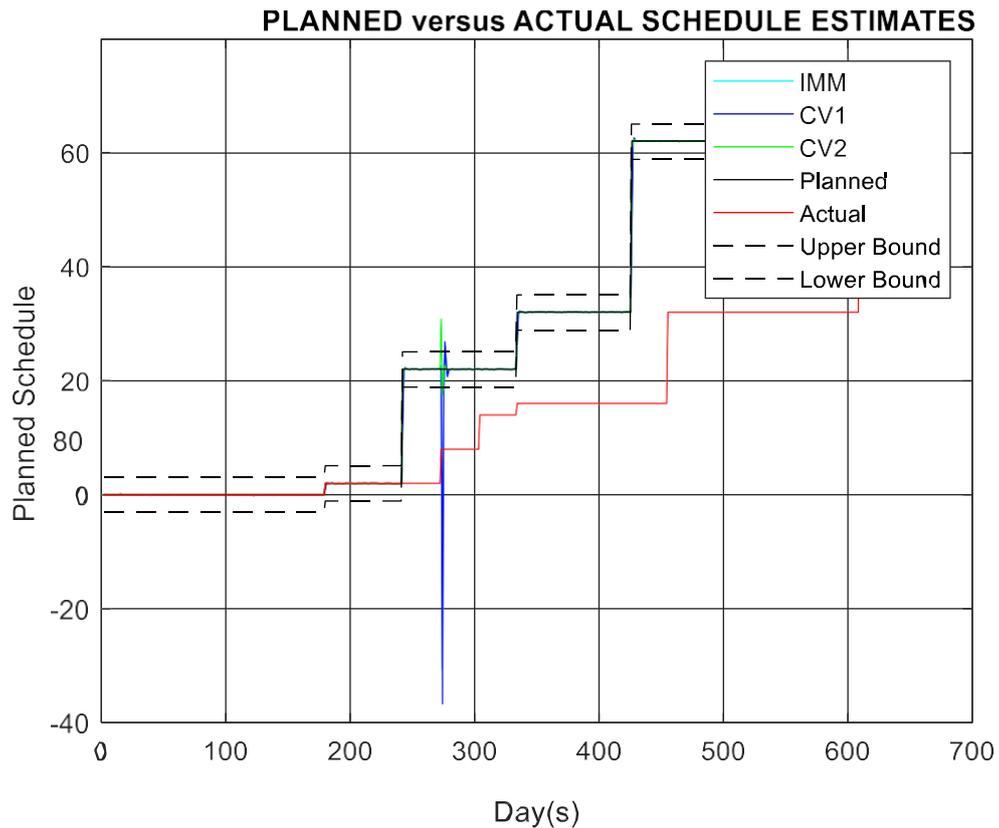


Figura 6-5. Estimaciones del cronograma del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 5%

**Figura 6-6** captura la estimación de costos planificada versus real. Además, se agrega al gráfico una tolerancia al riesgo del 5% calculando  $\pm 5\%$  del costo planificado.

Después de ejecutar el IMM, se examina la comparación entre el IMM y el costo planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma programa planificado.

Por ejemplo, en **Figura 6-6**, alrededor del día 272, el costo planificado indica un ligero aumento en el costo. Sin embargo, el costo real del programa es consistente con el costo planificado. Se observa que el programa no ha asumido más del 5% de riesgo considerado aceptable por el director del programa en relación con el costo del programa

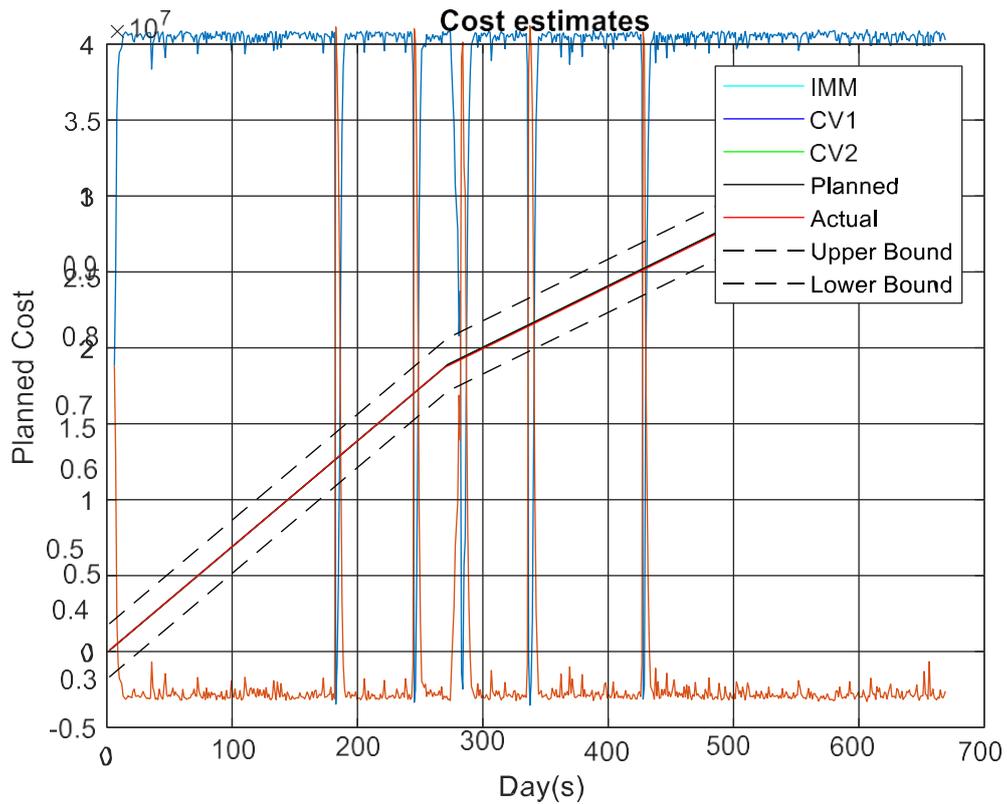


Figura 6-6. Estimaciones de costos del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 5%

**Figura 6-7** muestra las probabilidades de cambio del IMM en función del cronograma y el costo del programa planificado. Se observa que el IMM recoge el cronograma planificado del programa y los costos cambian consistentemente con los días del programa: 190, 240, 272, 340 y 450.

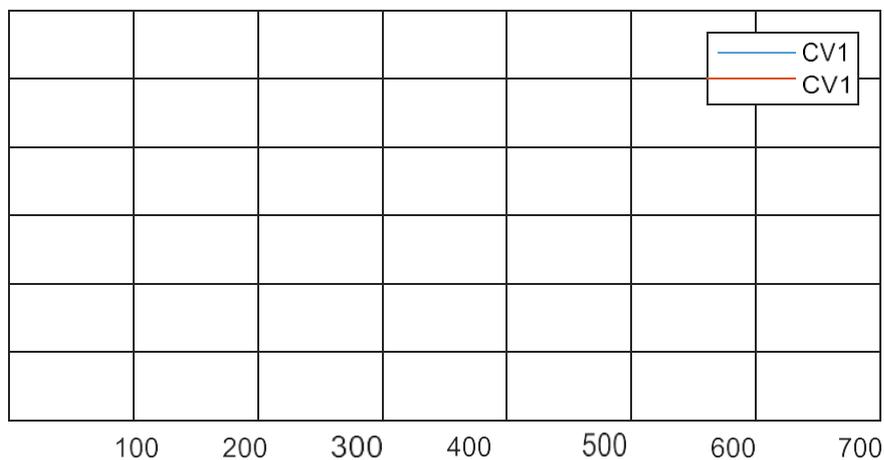



Figura 6-7. Interacción de múltiples probabilidades de cambio de modelo asumiendo un riesgo del 5%.

Se puede deducir que el filtro IMM identifica los cambios tanto en el cronograma como en el costo del programa, lo que serviría como indicador para el director del programa de que se ha asumido alguna medida de riesgo. Corresponde al director del programa determinar si ese riesgo está dentro de la tolerancia al riesgo establecida del programa. Tabla Se presenta un resumen de los puntos en los que la IMM detectó un cambio en el cronograma y costo del programa planificado.

5%	Día				
	190	240	272	340	420
Planificado	2	22	18894120	32	62
Actual	2	2	18806610	dieciséis	dieciséis
Límite superior	Y	Y	Y	Y	Y
Límite inferior	Y	norte	Y	norte	norte

Tabla 6-1. Resumen de probabilidad de cambio para una tolerancia al riesgo del 5%

El día 190, el programa planeó entregar 2 sistemas y entregó 2 sistemas. El día 240, el programa tenía previsto entregar 22 sistemas. La entrega real de sistemas del programa el día 240 siguió siendo 2. Al examinar la tolerancia al riesgo del director del programa en Figura está claro que la tolerancia al riesgo superó el 5%. El día 272, las diferencias de costos planificados versus reales no excedieron la tolerancia al riesgo del 5%. El día 240, el programa planificó la entrega de 32 sistemas, mientras que la entrega real del programa fue de 16 sistemas. Una vez más, haciendo referencia a Figura, se puede deducir que el programa ha

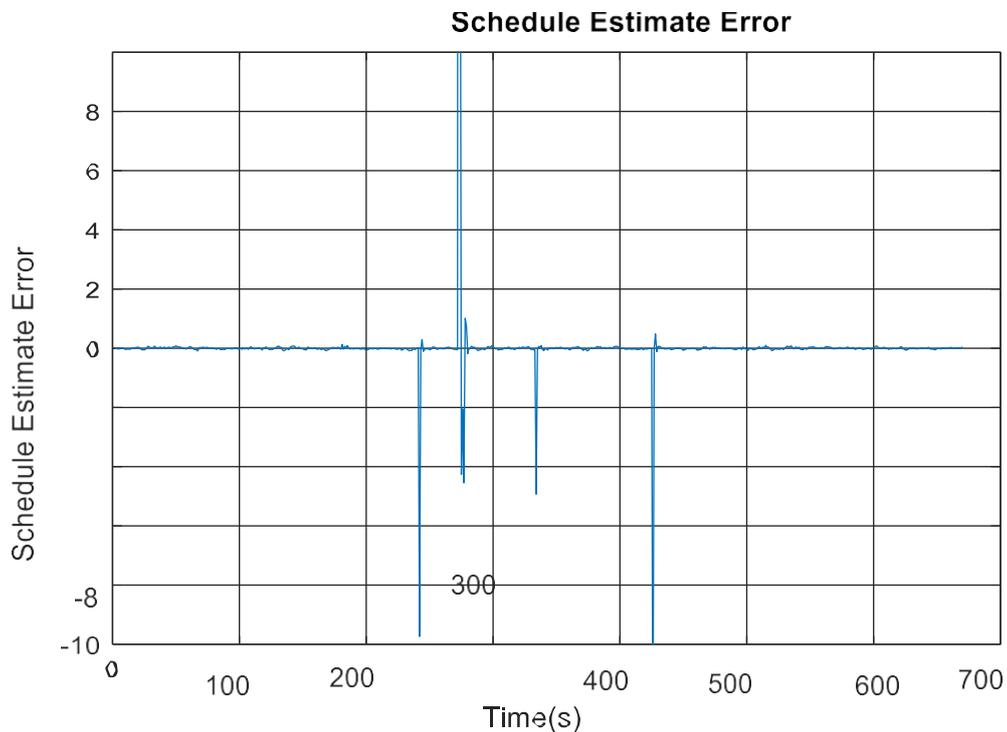
vuelto a superar el umbral de tolerancia al riesgo del 5%. Finalmente, el día 420, el programa planeó la entrega de 62 sistemas, pero se quedó corto al entregar solo 16 sistemas.

**Figura 6-5** muestra que se ha superado la tolerancia al riesgo el día 420.

Para validar la estimación del programa, el error de estimación del cronograma se calcula tomando la diferencia entre el cronograma planificado y el estimado producido por el IMM.

Mediante el examen Figúralos errores de estimación del cronograma producidos por el IMM coinciden con los cambios de programa planificados en los días: 240, 272, 340 y 420. El IMM es lo suficientemente sensible como para detectar también los cambios en la estimación de costos.

Ver Figura.



**Figura 6-8.** Error de estimación de programación (5%)

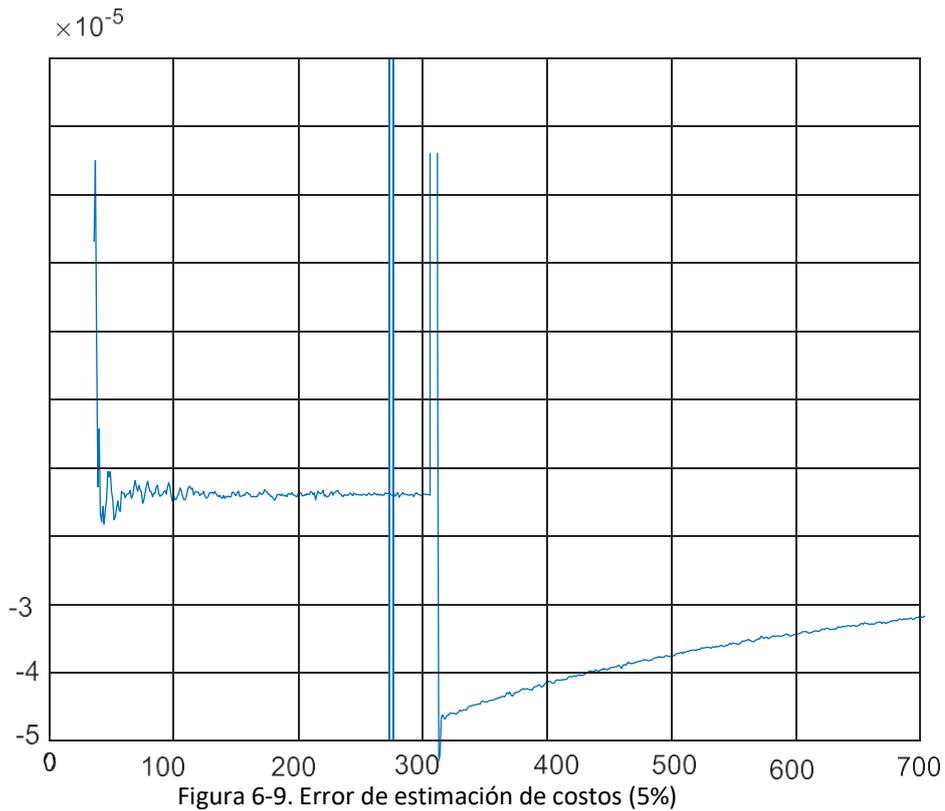


Figura 6-9. Error de estimación de costos (5%)

## 5.2 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Para el Caso 2, el director del programa ha asumido una tolerancia al riesgo del 10% tanto para el cronograma como para el costo. Para hacerlo, primero debemos configurar los valores de MSM de la siguiente manera:

$$\Pi = \begin{bmatrix} .90 & .10 \\ .02 & .98 \end{bmatrix} \quad (6-2)$$

La primera fila del MSM reflejará el deseo del director del programa de una tolerancia al riesgo del 10%. Por lo tanto, el valor de la primera fila y la primera columna será 0,90. Esto significa que en cada momento,  $t$ , hay un 90% de posibilidades de que el primer filtro CV prediga con precisión el cronograma y el costo del programa futuro. Cuando ocurre el tiempo,  $t$ , en el que la estimación futura tiene una precisión inferior al 90%, el modelo cambiará al segundo filtro CV. El segundo filtro CV seguirá prediciendo el cronograma y el costo con una tasa de precisión del 98%. Si la estimación tiene una precisión inferior al 98%, el modelo volverá al primer filtro CV

El número de veces que el modelo cambia proporciona una indicación a los administradores del programa de que el cronograma o costo futuro previsto del programa ha excedido la tolerancia al riesgo definida. La tolerancia al riesgo se computa determinando el 10% del cronograma planificado. Ver Figura 10. Esto le da al director del programa una representación visual del riesgo.

### PLANNED SCHEDULE AND RISK TOLERANCE

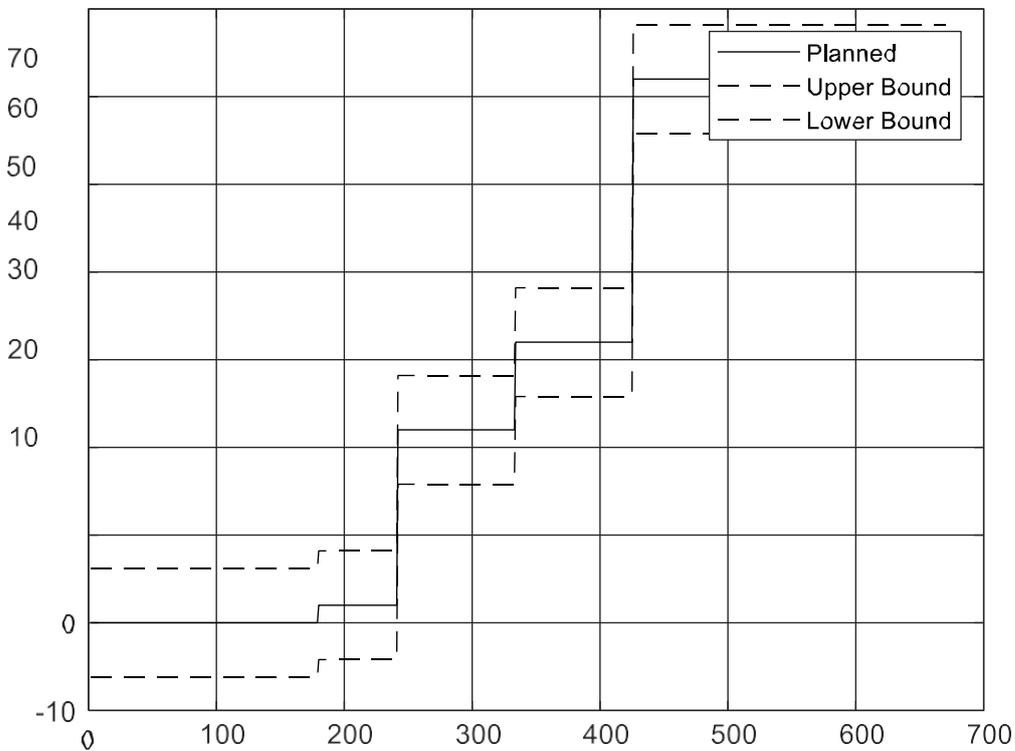


Figura 6-10. Calendario planificado con 10% de tolerancia al riesgo

La comparación entre el IMM y el cronograma planificado se presenta en **Figura 6-1**. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado. El día 190, el cronograma planificado indica que se planea entregar 2 sistemas. El número real de entregas el día 190 es 2.

Ahora examine el día 240 en **Figura 6-1**. La entrega prevista es 22, pero la entrega real sigue siendo 2. Por lo tanto, el programa no se ha acelerado sino que se está desacelerando. Se puede observar que el valor real del día 290 es menor que el límite inferior; por lo tanto, el programa ha asumido más del 10% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. Esta lógica puede continuar examinando las siguientes fechas: 340 y 450.

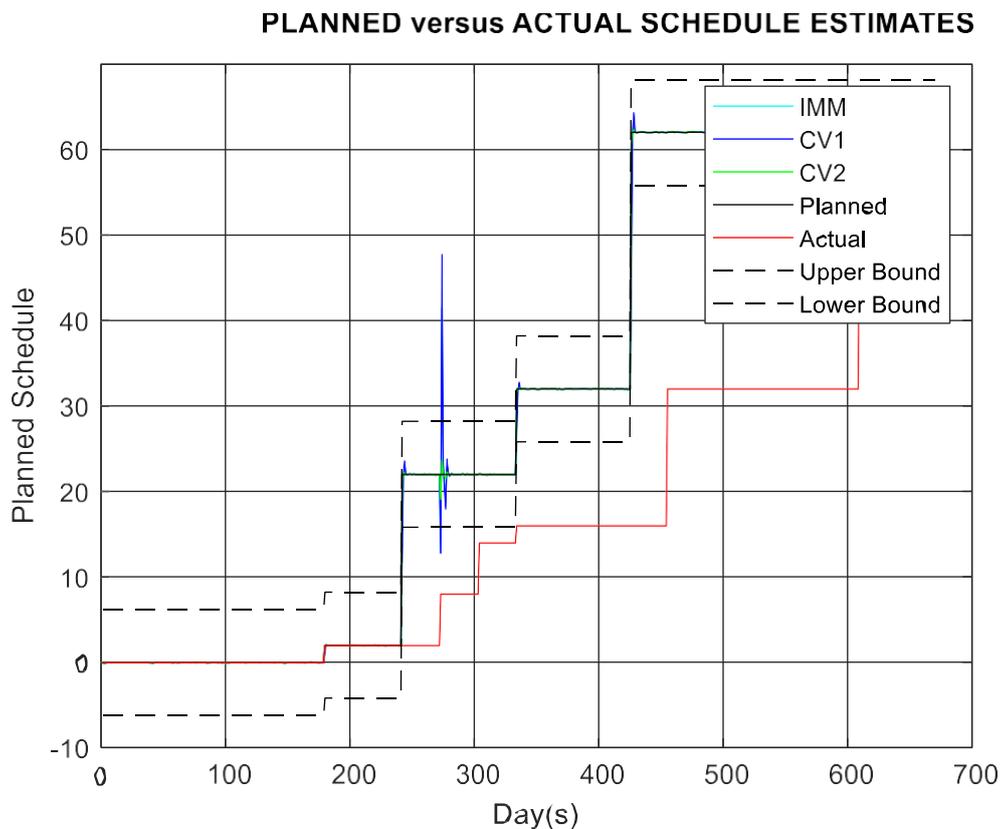


Figura 6-11. Estimaciones del cronograma del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 10%

**Figura 6-2** captura la estimación de costos planificada versus real. Además, se agrega al gráfico una tolerancia al riesgo del 10 % calculando  $\pm 10\%$  del costo planificado. Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el costo planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado.

Por ejemplo, en **Figura 6-**, alrededor del día 272, el costo planificado indica un ligero aumento en el costo. Sin embargo, el costo real del programa es consistente con el costo planificado.

Se puede observar que el programa no ha asumido más del 10% de riesgo considerado aceptable por el director del programa en relación con el costo del programa

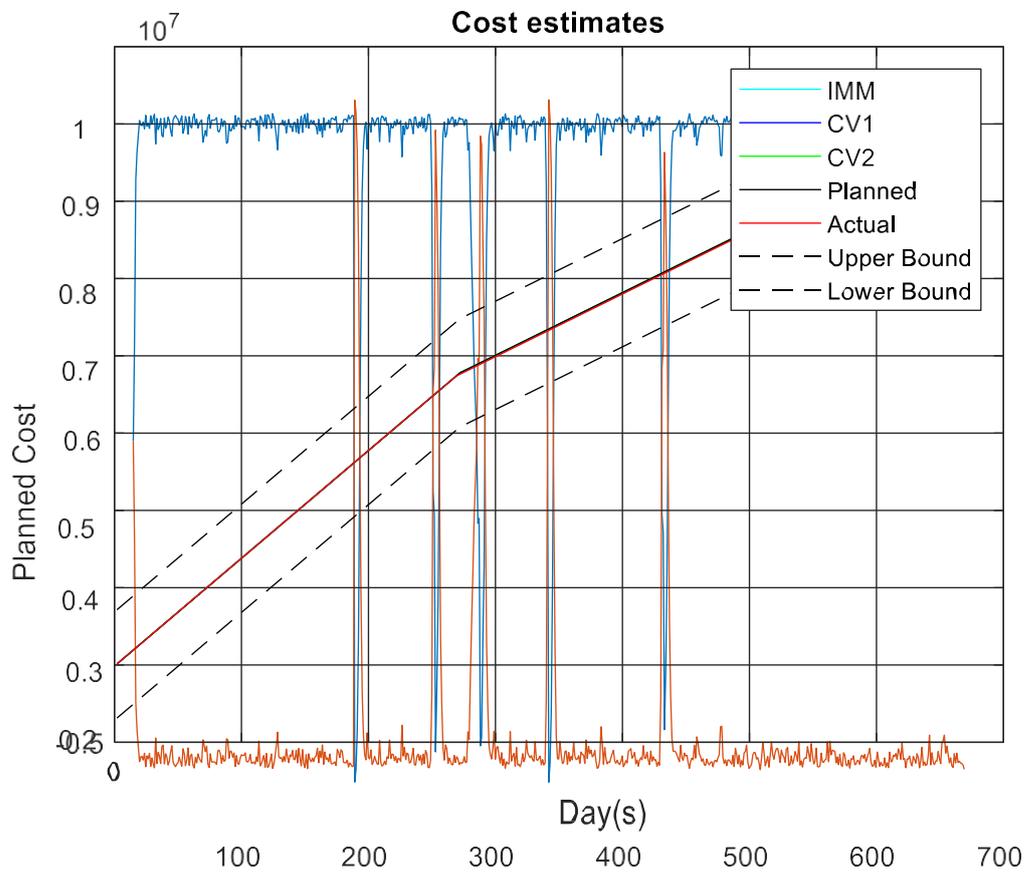


Figura 6-12. Estimaciones de costos del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 10%

**Figura 6-6** muestra las probabilidades de cambio del IMM en función del cronograma y el costo del programa planificado. Se puede observar que el IMM retoma el cronograma planificado del programa y los cambios de costos consistentemente con los días del programa de 190, 240, 272, 340 y 450.

### Switching Probabilities

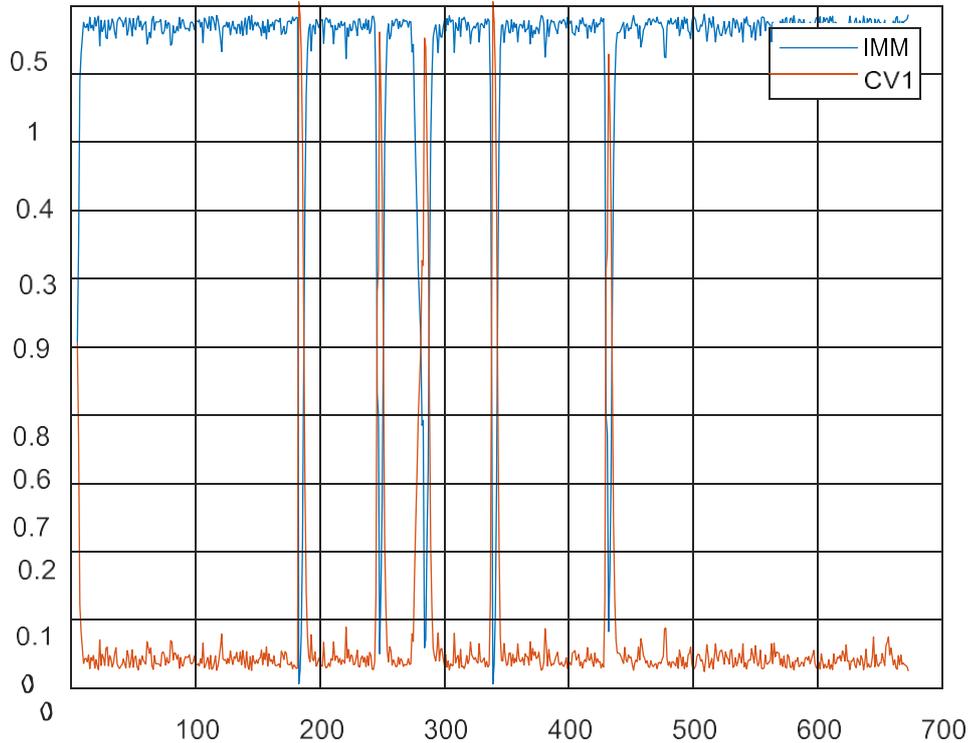


Figura 6-6. Interacción de múltiples probabilidades de cambio de modelo asumiendo un riesgo del 10%

Se puede deducir que el filtro IMM identificó los cambios tanto en el cronograma como en el costo del programa que servirían como indicador para el director del programa de que se ha asumido alguna medida de riesgo. Corresponde al director del programa determinar si ese riesgo está dentro de la tolerancia al riesgo establecida del programa.

**Tabla 6-2** Se presenta un resumen de los puntos en los que la IMM detectó un cambio en el cronograma y costo del programa planificado. El día 190, el programa planeaba entregar 2 sistemas y entregó 2 sistemas. El día 240, el programa tenía previsto entregar 22 sistemas. La entrega real de sistemas del programa el día 240 siguió siendo 2. Al examinar la tolerancia al riesgo del director del programa en **Figura 6-**, Está claro que la tolerancia al riesgo superó el 10%. El día 272, lo planificado versus lo real las diferencias de costos no excedieron la

tolerancia al riesgo del 10%. El día 240, el programa planificó la entrega de 32 sistemas, mientras que la entrega real del programa fue de 16 sistemas.

Una vez más, haciendo referencia a **Figura 6-**, se puede deducir que el programa ha vuelto a superar el umbral de tolerancia al riesgo del 10%. Finalmente, el día 420, el programa planeó la entrega de 62 sistemas, pero se quedó corto al entregar solo 16 sistemas. **Figura 6-**, De nuevo, muestra que la tolerancia al riesgo se superó el día 420.

10%	Día				
	190	240	272	340	420
Planificado	2	22	18894120	32	62
Actual	2	2	18806610	dieciséis	dieciséis
Límite superior	Y	Y	Y	Y	Y
Límite inferior	Y	norte	Y	norte	norte

Tabla 6-2. Resumen de probabilidad de cambio para una tolerancia al riesgo del 10%  
Mediante el examen **Figura 6-7**, los errores de estimación del cronograma producidos por el IMM coinciden con los cambios de programa planificados en los días: 240, 272, 340 y 420. El IMM es lo suficientemente sensible como para detectar también los cambios en la estimación de costos. Ver **Figura 6-8**.

### Schedule Estimate Error

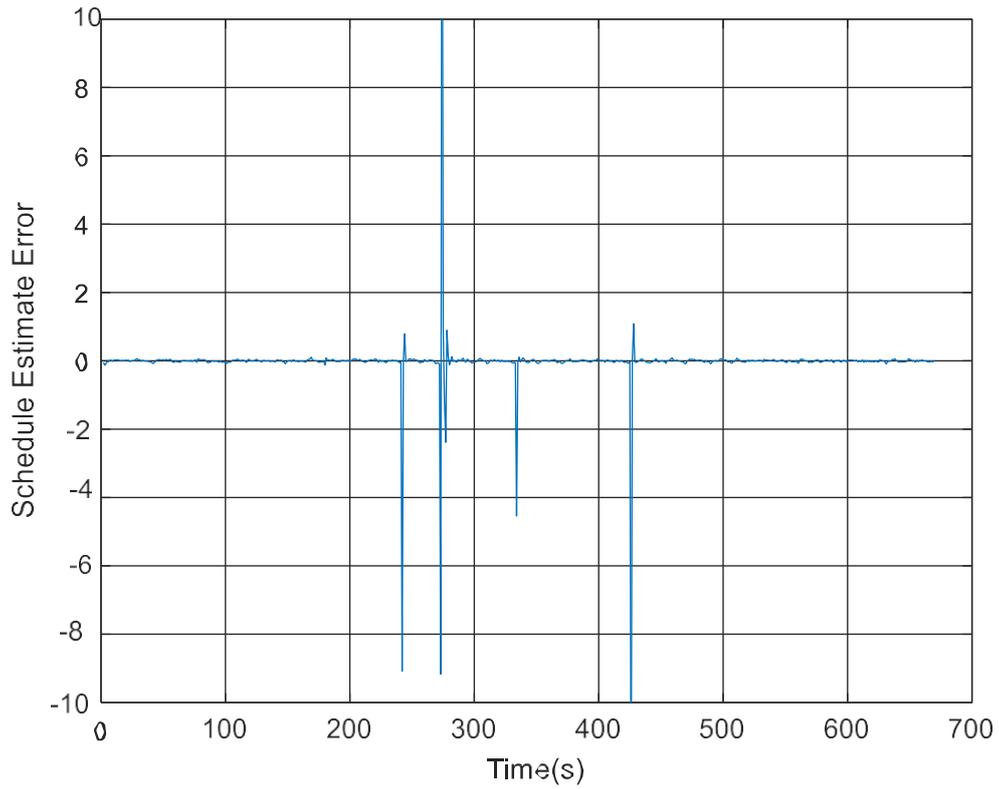


Figura 6-7. Error de estimación de programación (10%)

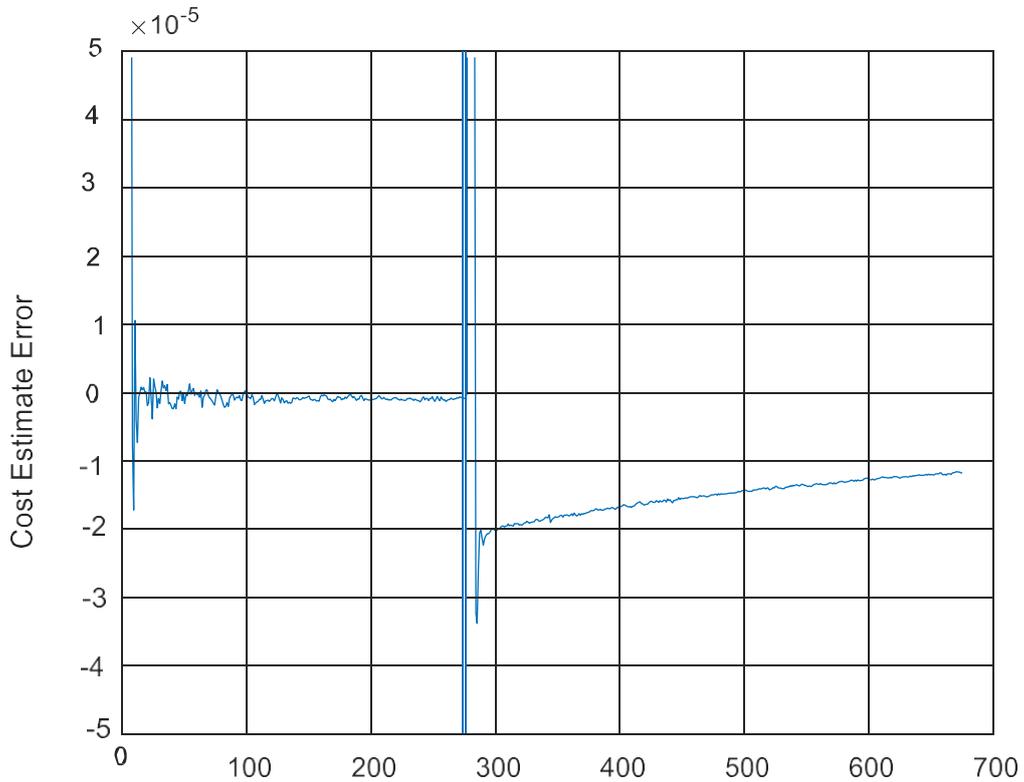


Figura 6-8. Error de estimación de costos (10%)

### 6.3 CASO 3- ASUMIR 15% DE RIESGO PARA EL PROGRAMA Y EL COSTO

Para el Caso 3, el director del programa ha asumido una tolerancia al riesgo del 15% tanto para el cronograma como para el costo. Para hacerlo, primero debemos configurar los valores de MSM de la siguiente manera:

$$\Pi = \begin{bmatrix} .85 & .15 \\ .02 & .98 \end{bmatrix}. \quad (6-3)$$

La primera fila del MSM reflejará el deseo del director del programa de una tolerancia al riesgo del 15%. Por lo tanto, el valor de la primera fila y la primera columna será 0,85. Esto significa que en cada momento,  $t$ , hay un 85% de posibilidades de que el primer filtro CV prediga con precisión el cronograma y el costo del programa futuro. Cuando ocurre el tiempo,  $t$ , en el que la estimación futura tiene una precisión inferior al 85%, el modelo cambiará al segundo filtro CV. El segundo filtro CV seguirá prediciendo el cronograma y el costo con una tasa de precisión del 98%. Si la estimación tiene una precisión inferior al 98%, el modelo volverá al primer filtro CV.

El número de veces que el modelo cambia proporciona una indicación a los administradores del programa de que el cronograma o costo futuro previsto del programa ha excedido la tolerancia al riesgo definida. La tolerancia al riesgo se computa determinando el 15% del cronograma planificado. Ver **Figura 6-9**. Esto le dará al director del programa una representación visual del riesgo.

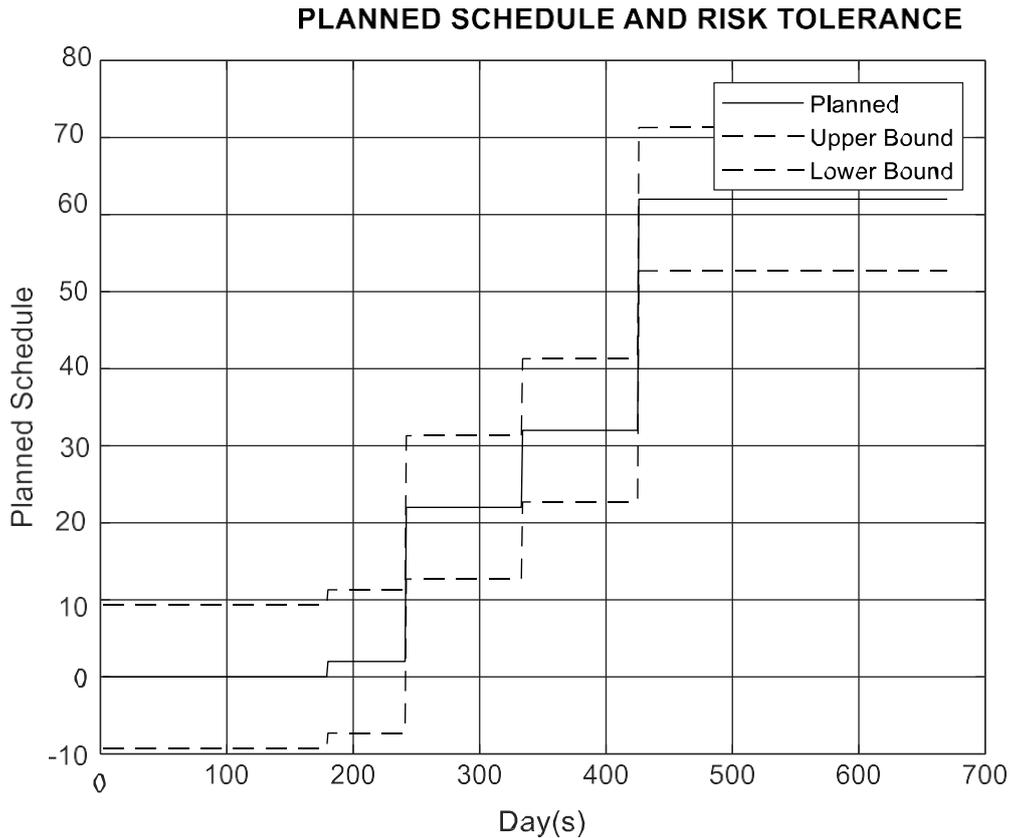


Figura 6-9. Calendario planificado con 15% de tolerancia al riesgo

Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el cronograma planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado. Por ejemplo, en **Figura 6-107** el día 190, el cronograma planificado indica que se planea entregar 2 sistemas. El número real de entregas el día 190 es 2.

Ahora examine el día 240 en **Figura 6-10**. La entrega prevista es 22, pero la entrega real sigue siendo 2. Por lo tanto, el programa no se ha acelerado sino desacelerado. Se puede observar que el valor real del día 290 es menor que el límite inferior; por lo tanto, el programa ha asumido más del 15% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. Alternativamente, el valor real del día 340 está dentro del límite inferior; por lo tanto, el programa se ha acelerado y está asumiendo menos del 15% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. Finalmente, el día 450 indica que el programa se ha retrasado nuevamente y ha asumido más del 15% de riesgo

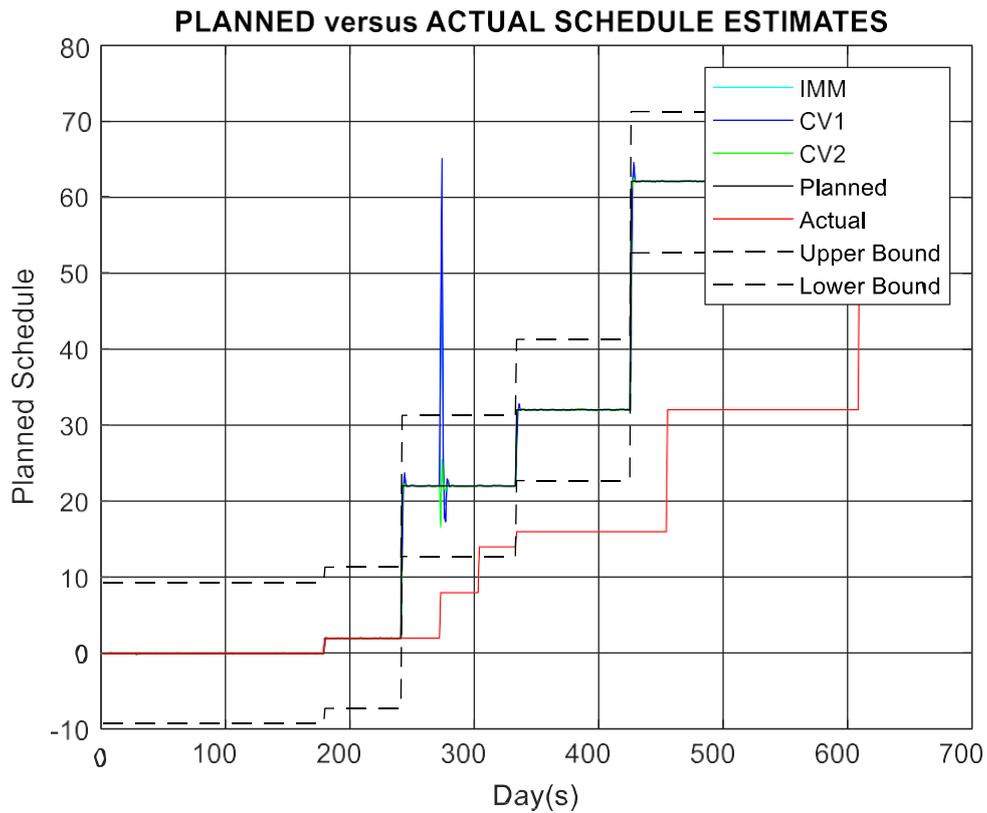


Figura 6-10. Estimaciones del cronograma del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 15%

**Figura 6-11** captura la estimación de costos planificada versus real. Además, se agrega al gráfico una tolerancia al riesgo del 15% calculando  $\pm 15\%$  del costo planificado. Después de ejecutar el IMM, se examina la comparación entre el IMM y el costo planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado.

Por ejemplo, en **Figura 6-11**, alrededor del día 272, el costo planificado indica un ligero aumento en el costo. Sin embargo, el costo real del programa es consistente con el costo planificado. Se puede observar el programa no ha asumido más del 15% de riesgo considerado aceptable por el director del programa en relación con el costo del programa.

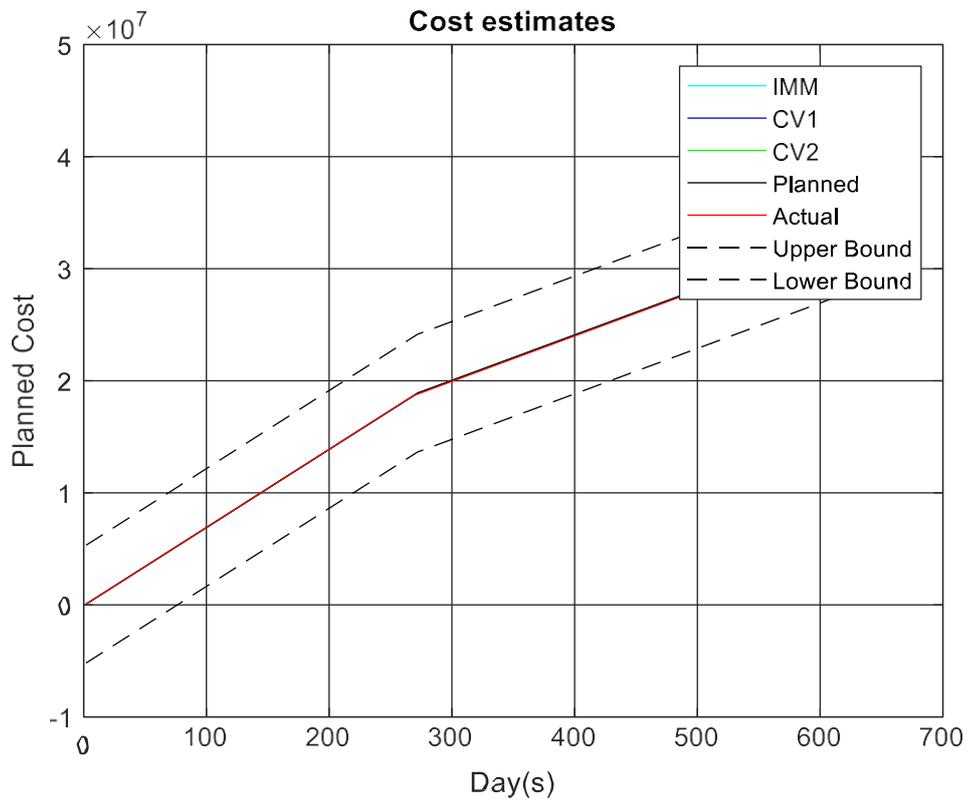
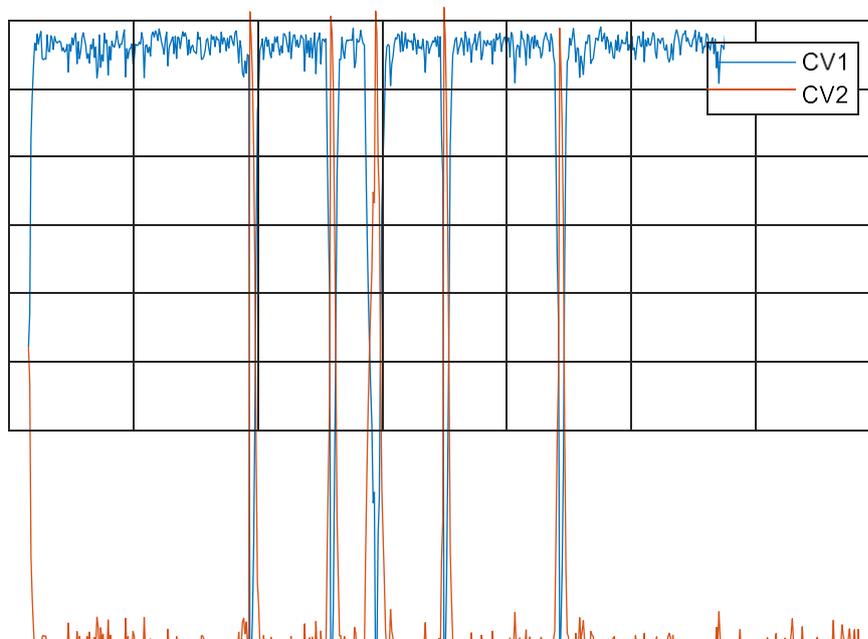


Figura 6-11. Estimaciones de costos del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 15%

**Figura 6-** muestra las probabilidades de cambio del IMM en función del cronograma y el costo del programa planificado. Se puede observar que el IMM recoge el cronograma planificado del programa y los costos cambian consistentemente con los días del programa: 190, 240, 272, 340 y 450.

### Switching Probabilities



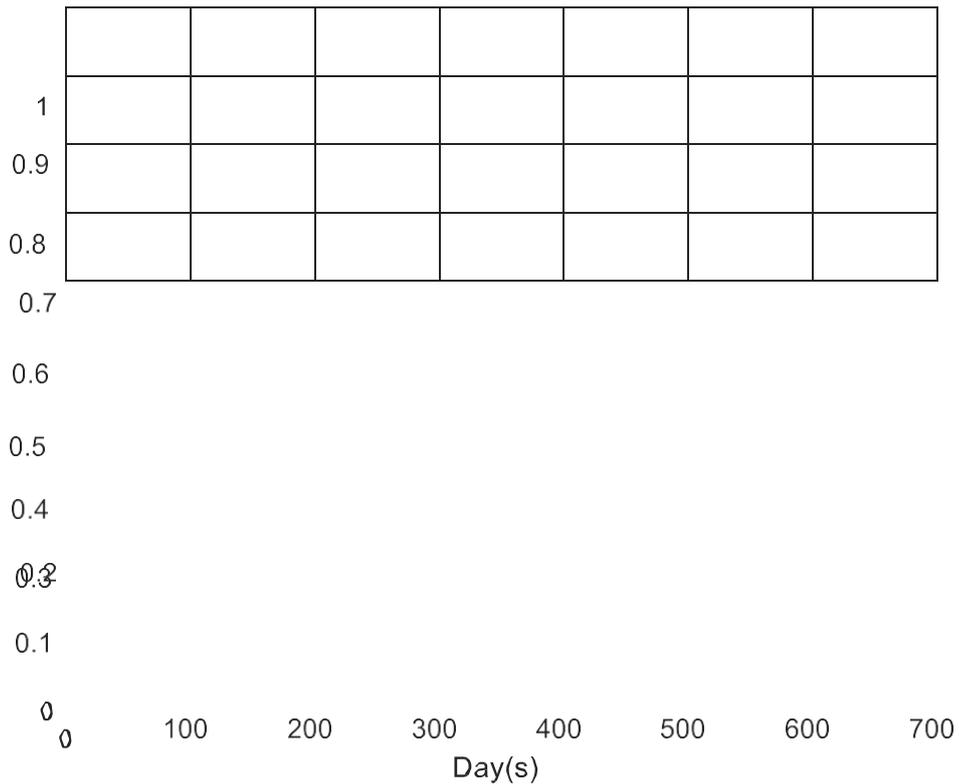


Figura 6-19. Interacción de múltiples probabilidades de cambio de modelo asumiendo un riesgo del 15%

El filtro IMM identificó los cambios tanto en el cronograma como en el costo del programa que servirían como indicador para el director del programa de que se ha asumido alguna medida de riesgo. Corresponde al director del programa determinar si ese riesgo está dentro de la tolerancia al riesgo establecida del programa. **Tabla 6-3** Se presenta un resumen de los puntos en los que la IMM detectó un cambio en el cronograma y costo del programa planificado. El día 190, el programa planeaba entregar 2 sistemas y entregó 2 sistemas. El día 240, el programa tenía previsto entregar 22 sistemas. La entrega real de sistemas del programa el día 240 siguió siendo 2.

Al examinar la tolerancia al riesgo de los gerentes de programa en **Figura 6-10**, está claro que la tolerancia al riesgo superó el 15%. El día 272, las diferencias de costos planificados versus reales no exceder la tolerancia al riesgo del 15%. El día 240, el programa preveía la

entrega de 32 sistemas. La ejecución real del programa se aceleró a 16 sistemas y estuvo dentro del nivel de tolerancia al riesgo del director del programa. Finalmente, el día 420, el programa planeó la entrega de 62 sistemas, pero se quedó corto al entregar solo 16 sistemas. **Figura 6-10**, De nuevo, muestra que la tolerancia al riesgo se superó el día 420.

15%	Día				
	190	240	272	340	420
Planificado	2	22	18894120	32	62
Actual	2	2	18806610	dieciséis	dieciséis
Límite superior	Y	Y	Y	Y	Y
Límite inferior	Y	norte	Y	norte	norte

Tabla 6-3. Resumen de probabilidad de cambio para una tolerancia al riesgo del 15 %

Mediante el examen **Figura 6-12**, los errores de estimación del cronograma producidos por el IMM coinciden con los cambios de programa planificados en los días: 240, 272, 340 y 420. El IMM es lo suficientemente sensible como para detectar también los cambios en la estimación de costos. Ver **Figura 6-**.

### Schedule Estimate Error

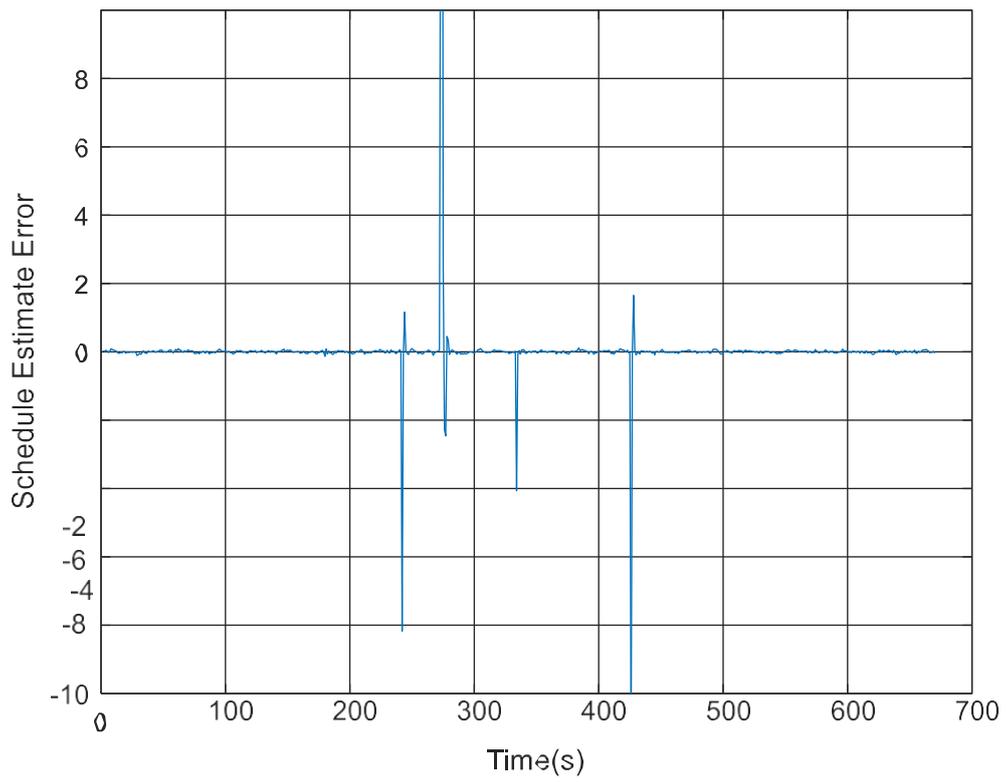


Figura 6-12. Error de estimación de programación (15%)

$\times 10^{-5}$

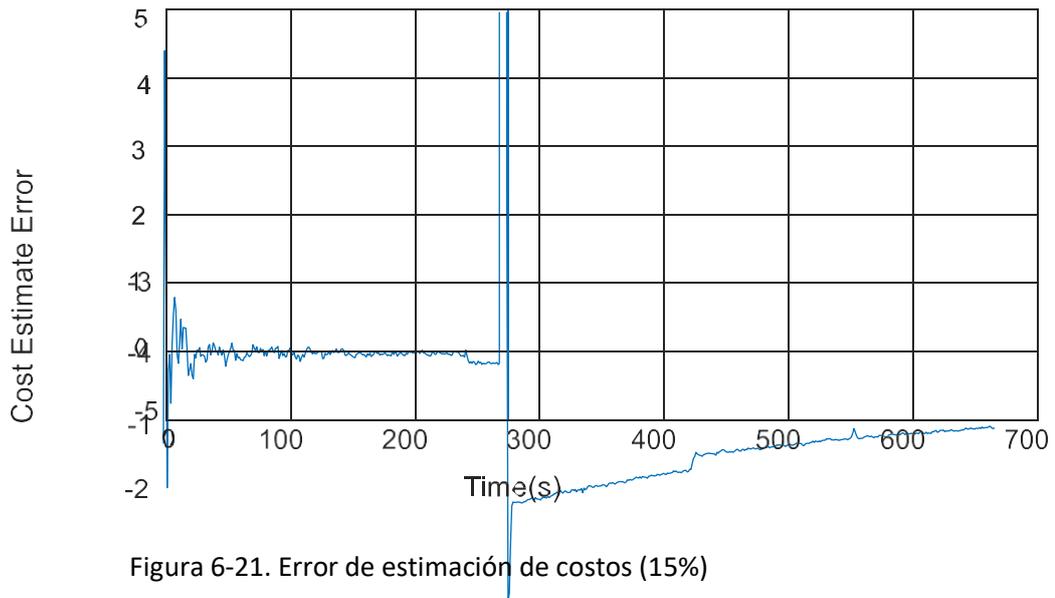



Figura 6-21. Error de estimación de costos (15%)

#### 6.4 CASO 4 – ASUMIR 20% DE RIESGO PARA EL PROGRAMA Y COSTO

Para el Caso 4, el director del programa ha asumido una tolerancia al riesgo del 20% tanto para el cronograma como para el costo. Para ello, primero debemos establecer que los valores de MSM deben configurarse de la siguiente manera:

$$\Pi = \begin{bmatrix} .80 & .20 \\ .02 & .98 \end{bmatrix} \quad (6-4)$$

La primera fila del MSM reflejará el deseo del director del programa de una tolerancia al riesgo del 20%. Por lo tanto, el valor de la primera fila y la primera columna será 0,80. Esto significa que en cada momento, t, hay un 80% de posibilidades de que el primer filtro CV prediga con precisión el cronograma y el costo futuros del programa. Cuando ocurre el tiempo, t, en el que la estimación futura tiene una precisión inferior al 80%, el modelo cambiará al segundo filtro CV. El segundo filtro CV seguirá prediciendo el cronograma y el costo con una tasa de precisión del 98%. Si la estimación tiene una precisión inferior al 98%, el modelo volverá al primer filtro CV.

El número de veces que el modelo cambia proporciona una indicación a los administradores del programa de que el cronograma o costo futuro previsto del programa ha excedido la tolerancia al riesgo definida. La tolerancia al riesgo se computa determinando el 20% del

cronograma planificado. Ver **Figura 6-13**. Esto le dará al director del programa una representación visual del riesgo.

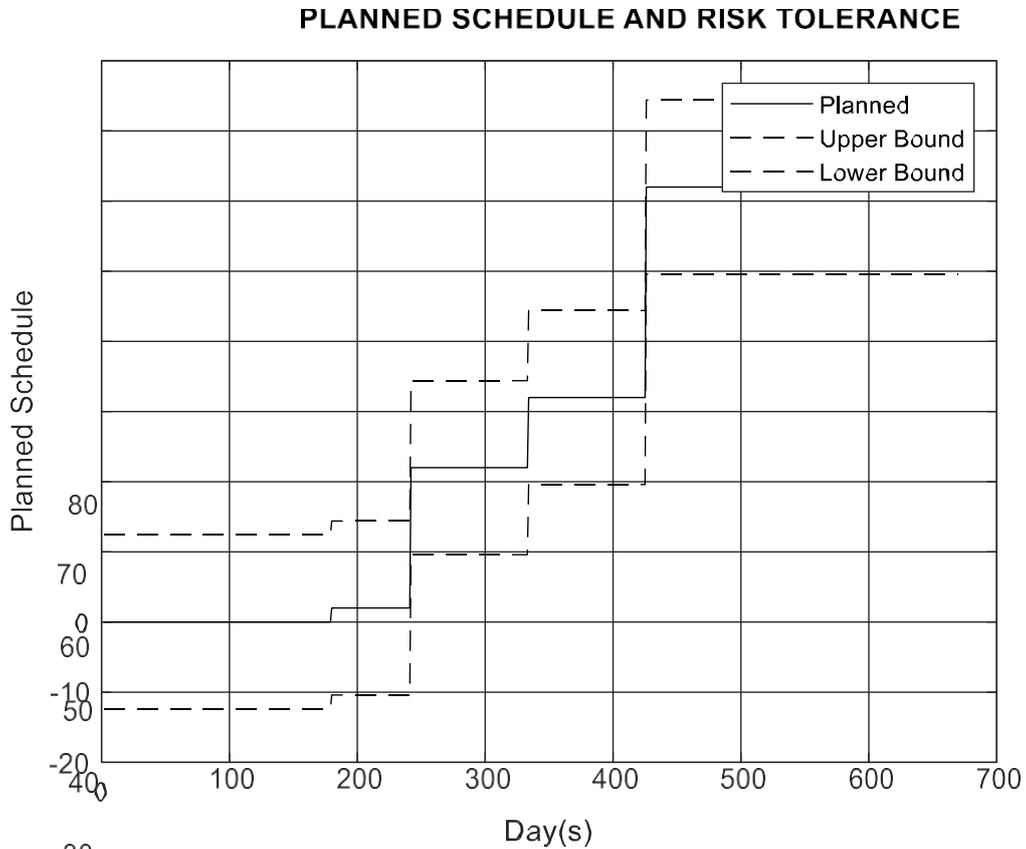


Figura 6-13. Calendario planificado con 20% de tolerancia al riesgo

Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el cronograma planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado. Por ejemplo, en **Figura** el día 190, el cronograma planificado indica que se planea entregar 2 sistemas. El número real de entregas el día 190 es 2.

Ahora examine el día 240 en **Figura**. La entrega prevista es 22, pero la entrega real sigue siendo 2. Por lo tanto, el programa no se ha acelerado sino que se está desacelerando. Se puede observar que el valor real del día 290 es menor que el límite inferior; por lo tanto, el programa ha asumido más del 20% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. El valor real del día 340 está fuera del límite inferior. El programa se ha acelerado

#### PLANNED versus ACTUAL SCHEDULE ESTIMATES

y sigue asumiendo más del 20% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. Finalmente, el día 450 indica que el programa se ha retrasado nuevamente y ha asumido más del 20% de riesgo.

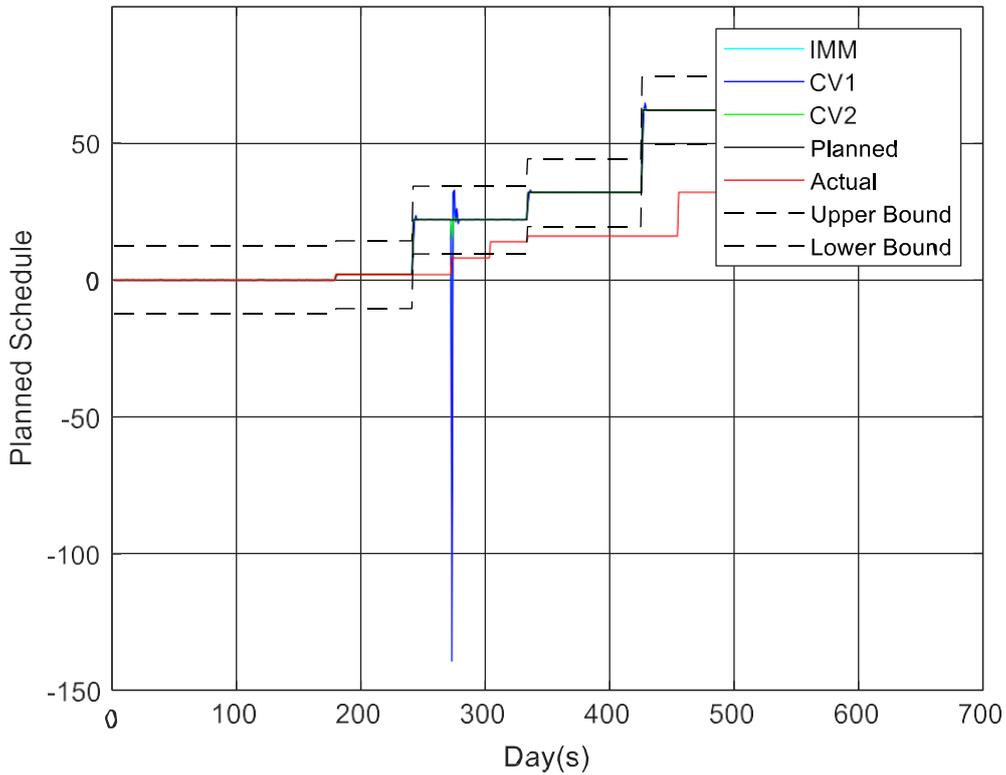


Figura 6-14. Calendario del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 20%

**Figura 6-15** captura la estimación de costos planificada versus real. Además, se agrega al gráfico una tolerancia al riesgo del 20 % calculando  $\pm 20\%$  del costo planificado. Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el costo planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado. Por ejemplo, en **Figura 6-15**, alrededor del día 20, el costo planificado indica un ligero aumento en el costo. Sin embargo, el costo real del programa es consistente con el costo planificado. Se puede observar que el programa no ha asumido más del 20% de riesgo considerado aceptable por el director del programa en relación con el costo del programa

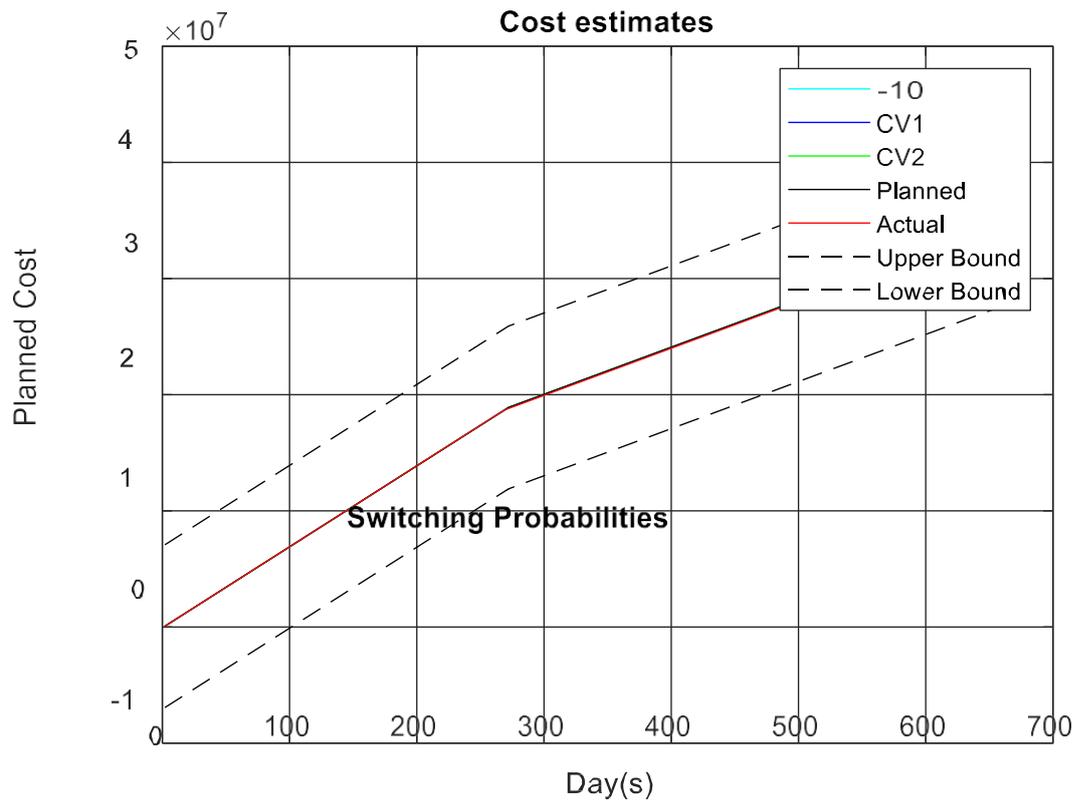
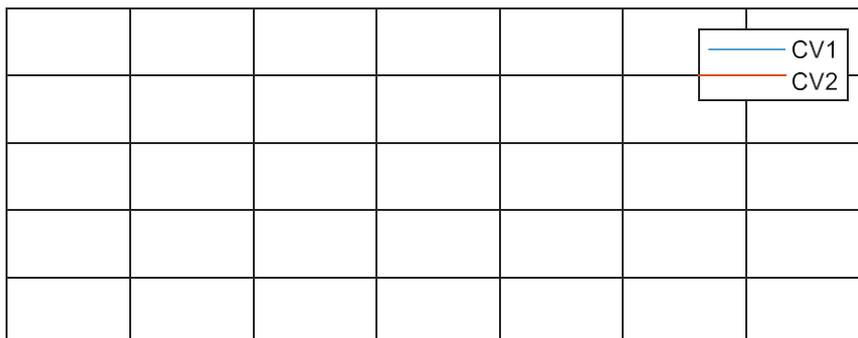


Figura 6-15. Estimaciones de costos del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 20%

**Figura 6-16** muestra las probabilidades de cambio del IMM en función del cronograma y el costo del programa planificado. Se puede observar que el IMM retoma el cronograma planificado del programa y los costos cambian consistentemente en los días del programa 190, 240, 272, 340 y 450.



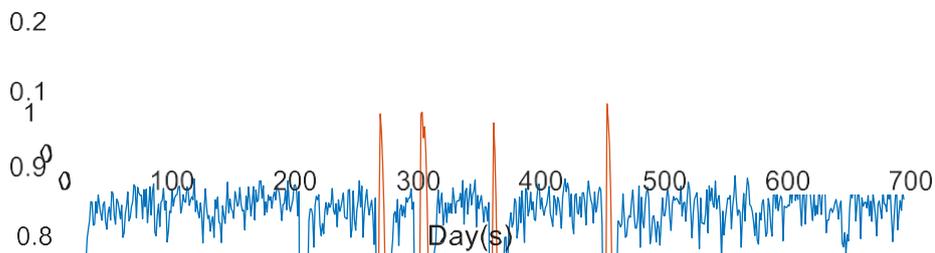



Figura 6-16. Interacción de múltiples probabilidades de cambio de modelo asumiendo un riesgo del 20%

El filtro IMM identificó los cambios tanto en el cronograma como en el costo del programa que servirían como indicador para el director del programa de que se ha asumido alguna medida de riesgo. Corresponde al director del programa determinar si ese riesgo está dentro de la tolerancia al riesgo establecida del programa. **Tabla 6-4** Se presenta un resumen de los puntos en los que la IMM detectó un cambio en el cronograma y costo del programa planificado. El día 190, el programa planeaba entregar 2 sistemas y entregó 2 sistemas. El día 240, el programa tenía previsto entregar 22 sistemas. La entrega real de sistemas del programa el día 240 siguió siendo 2.

Al examinar la tolerancia al riesgo de los gerentes de programa en **Figura 6-14**, está claro que la tolerancia al riesgo superó el 20%. El día 272, las diferencias de costos planificados versus reales no excedieron la tolerancia al riesgo del 20%. El día 340, el programa preveía la entrega de 32 sistemas. La ejecución real del programa se aceleró a 16 sistemas y permaneció fuera del nivel de tolerancia al riesgo del director del programa. Finalmente, el día 420, el programa

planeó la entrega de 62 sistemas, pero se quedó corto al entregar solo 16 sistemas. Figura, muestra nuevamente que se superó la tolerancia al riesgo el día 420.

20%	Día				
	190	240	272	340	420
Planificado	2	22	18894120	32	62
Actual	2	2	18806610	dieciséis	dieciséis
Límite superior	Y	Y	Y	Y	Y
Límite inferior	Y	norte	Y	norte	norte

Tabla 6-4. Resumen de probabilidad de cambio para una tolerancia al riesgo del 20 %

Mediante el examen Figura, los errores de estimación del cronograma producidos por el IMM coinciden con los cambios planificados del programa en los días: 240, 272, 340 y 420. El IMM es lo suficientemente sensible como para detectar también los cambios en la estimación del costo. Ver Figura

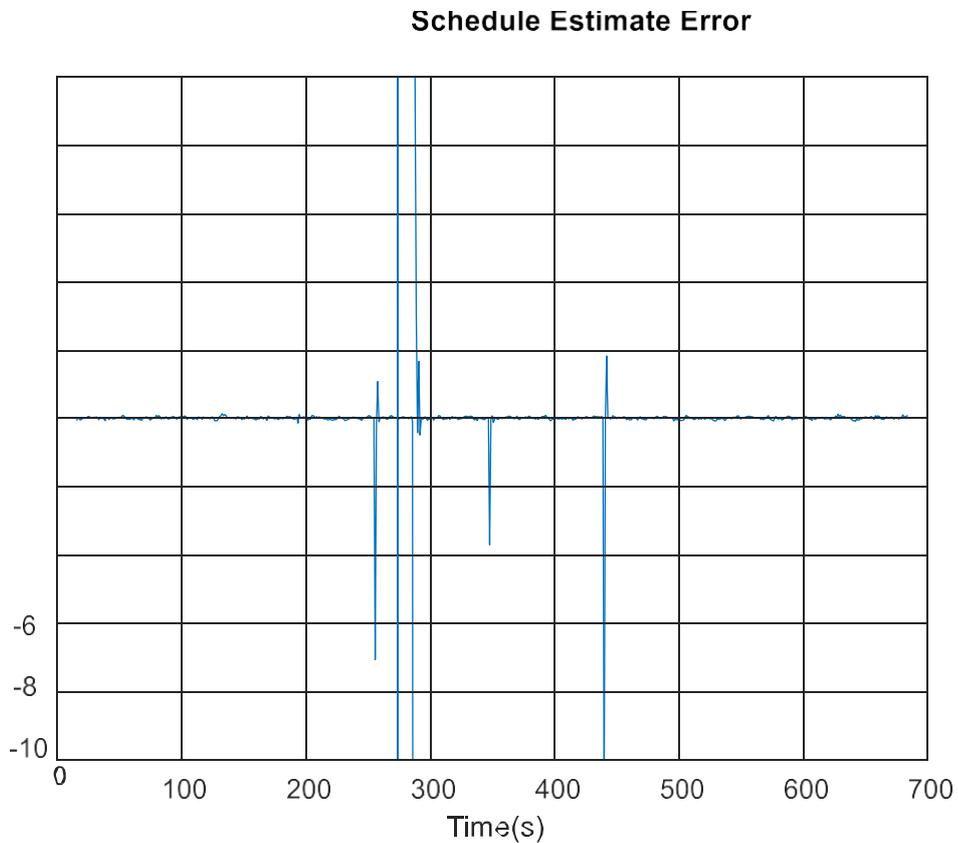


Figura 6-17. Error de estimación de programación (20%)

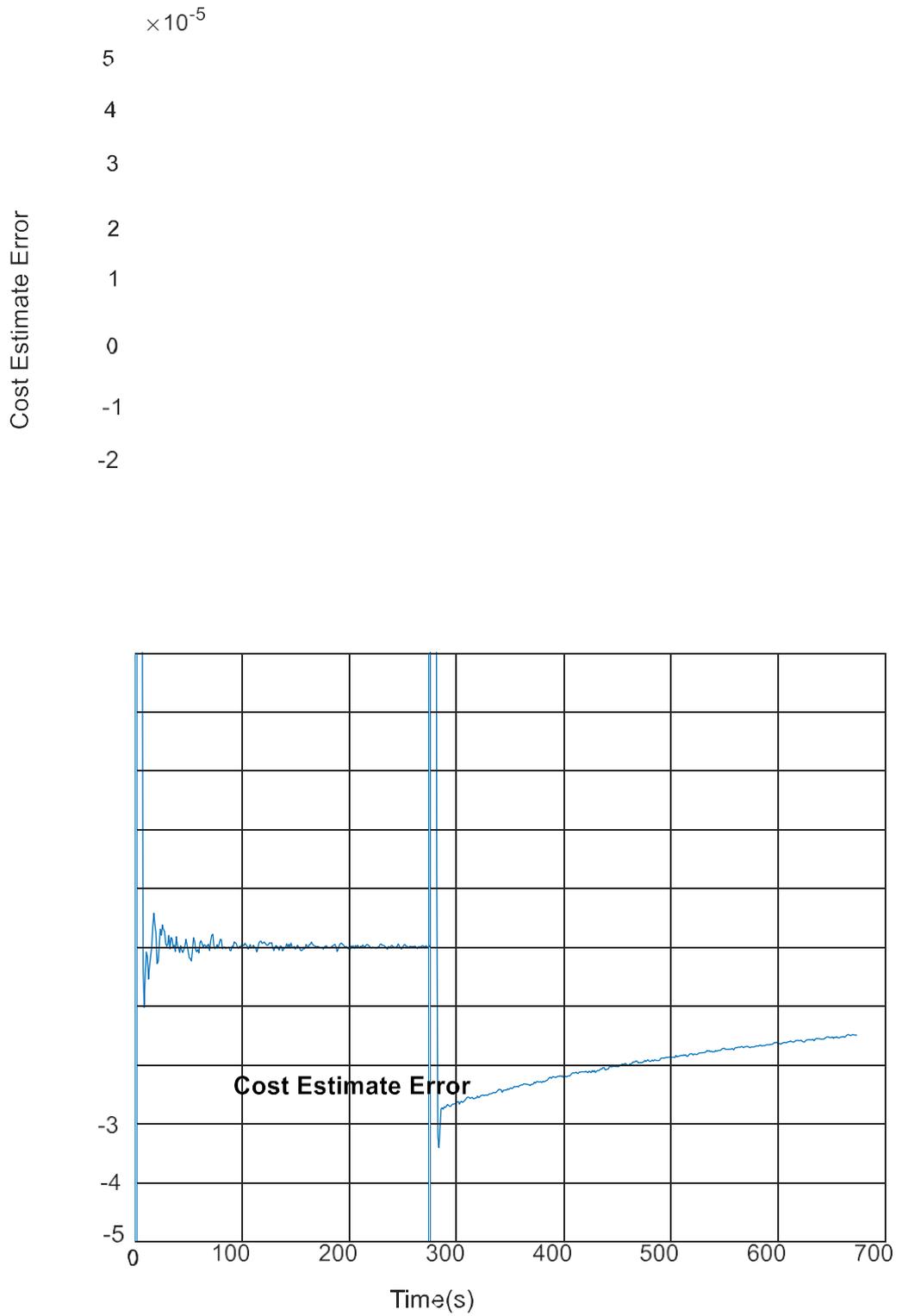


Figura 6-18. Error de estimación de costos (20%)

### 6.5 CASO 5 – ASUMIR 25% DE RIESGO PARA EL PROGRAMA Y EL COSTO

Para el Caso 5, el director del programa ha asumido una tolerancia al riesgo del 25% tanto para el cronograma como para el costo. Para hacerlo, primero debemos configurar los valores de MSM de la siguiente manera:

$$\Pi = \begin{bmatrix} .75 & .25 \\ .02 & .98 \end{bmatrix} \quad (6-5)$$

La primera fila del MSM reflejará el deseo del director del programa de una tolerancia al riesgo del 25 %. Por lo tanto, el valor de la primera fila y la primera columna será 0,75. Esto significa que en cada momento,  $t$ , hay un 75% de probabilidad de que el primer filtro CV prediga con precisión el cronograma y el costo del programa futuro. Cuando ocurre el tiempo,  $t$ , en el que la estimación futura tiene una precisión inferior al 75%, el modelo cambiará al segundo filtro CV. El segundo filtro CV seguirá prediciendo el cronograma y el costo con una tasa de precisión del 98%. Si la estimación tiene una precisión inferior al 98%, el modelo volverá al primer filtro CV.

El número de veces que el modelo cambia proporciona una indicación al director del programa de que el cronograma o costo futuro previsto del programa ha excedido la tolerancia al riesgo definida. La tolerancia al riesgo se computa determinando el 25% del cronograma planificado. Ver **Figura 6-19**. Esto le dará al director del programa una representación visual del riesgo.

### **PLANNED SCHEDULE AND RISK TOLERANCE**

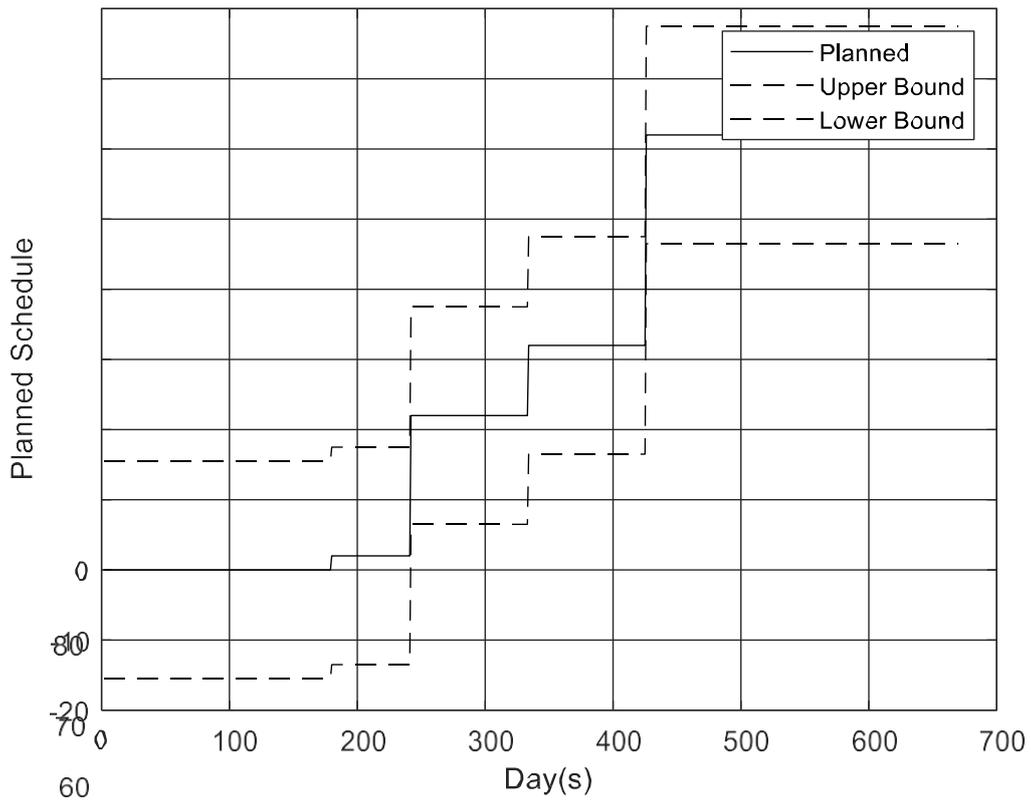


Figura 6-19. Calendario planificado con 25% de tolerancia al riesgo

Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el cronograma  
 30  
 planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del  
 20  
 programa planificado. Por ejemplo, en **Figura 6-20** el día 190, el cronograma planificado indica  
 10  
 que se planea entregar 2 sistemas. El número real de entregas el día 190 es 2.

Ahora examine el día 240 en Figura. La entrega prevista es 22, pero la entrega real sigue siendo 2. Por lo tanto, el programa no se ha acelerado sino que se está desacelerando. Se puede observar que el valor real del día 290 es menor que el límite inferior; por lo tanto, el programa ha asumido más del 25% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. Alternativamente, el valor real del día 340 está dentro del límite inferior. Por lo tanto, el programa se ha acelerado y está asumiendo menos del 25% de riesgo considerado aceptable por el director del programa. Finalmente, el día 450 indica que el programa se ha retrasado nuevamente y ha asumido más del 25% de riesgo.

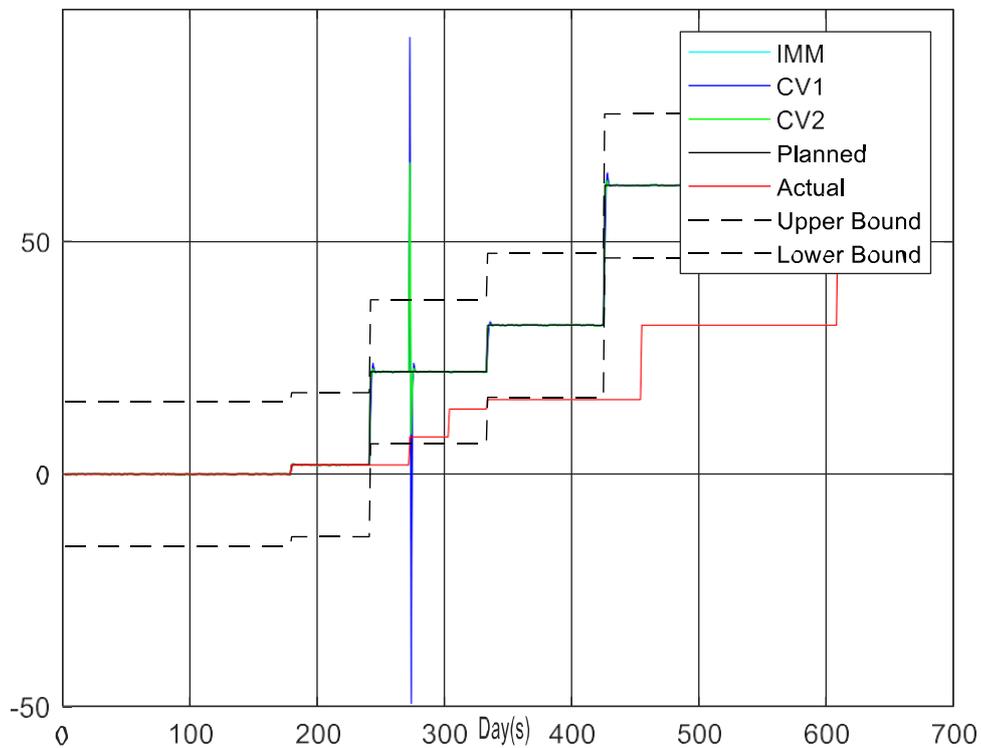


Figura 6-20. Estimaciones del cronograma del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 25%

**Figura 6-** captura la estimación de costos planificada versus real. Además, se agrega al gráfico una tolerancia al riesgo del 25 % calculando  $\pm 25\%$  del costo planificado. Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el costo

planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado.

Por ejemplo, en Figura, alrededor del día 272, el costo planificado indica un ligero aumento en el costo. Sin embargo, el costo real del programa es consistente con el costo planificado

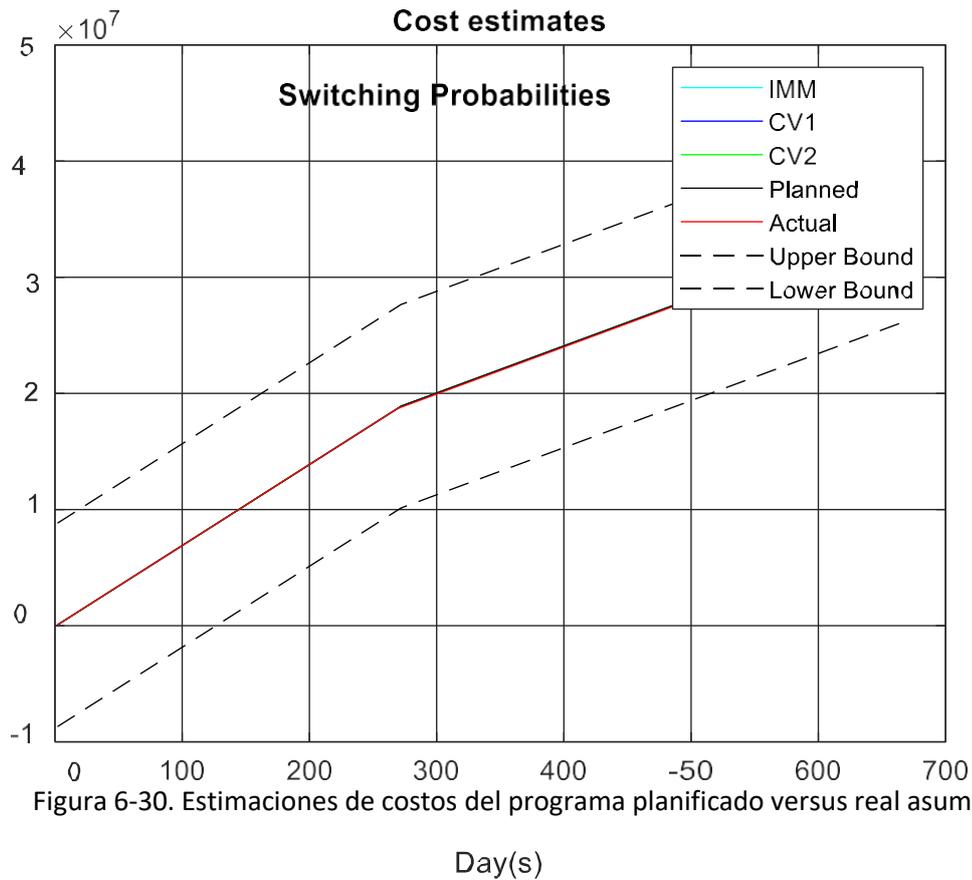
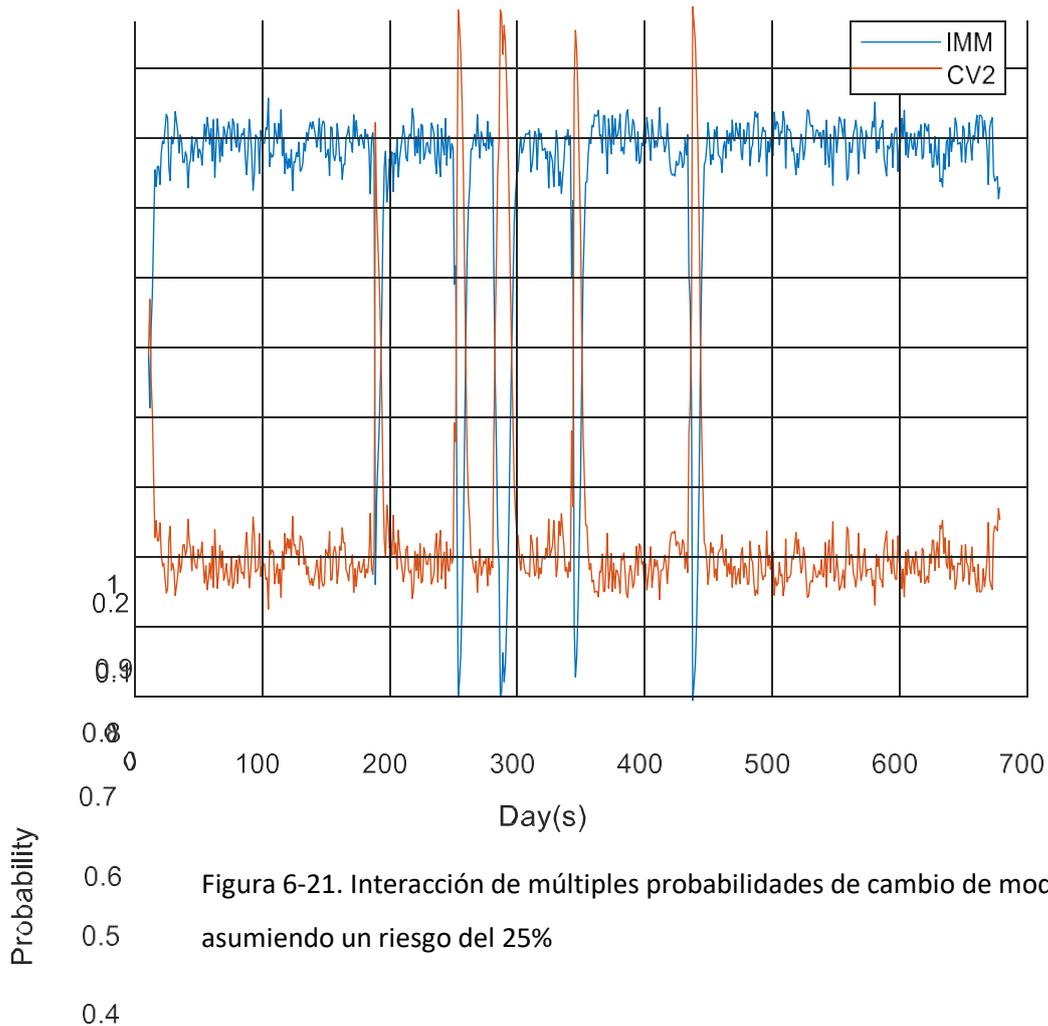


Figura 6-30. Estimaciones de costos del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 25%

**Figura 6-21** muestra las probabilidades de cambio del IMM en función del cronograma y el costo del programa planificado. Se puede observar que el IMM retoma el cronograma planificado del programa y los costos cambian consistentemente en los días del programa 190, 240, 272, 340 y 450.

--	--	--	--	--	--	--



Se puede deducir que el filtro IMM identificó los cambios tanto en el cronograma como en el costo del programa que servirían como indicador para el director del programa de que se ha asumido alguna medida de riesgo. Corresponde al director del programa determinar si ese riesgo está dentro de la tolerancia al riesgo establecida del programa. Tabla Se presenta un resumen de los puntos en los que la IMM detectó un cambio en el cronograma y costo del programa planificado. El día 190, el programa planeaba entregar 2 sistemas y entregó 2 sistemas. El día 240, el programa tenía previsto entregar 22 sistemas. La entrega real de sistemas del programa el día 240 siguió siendo 2.

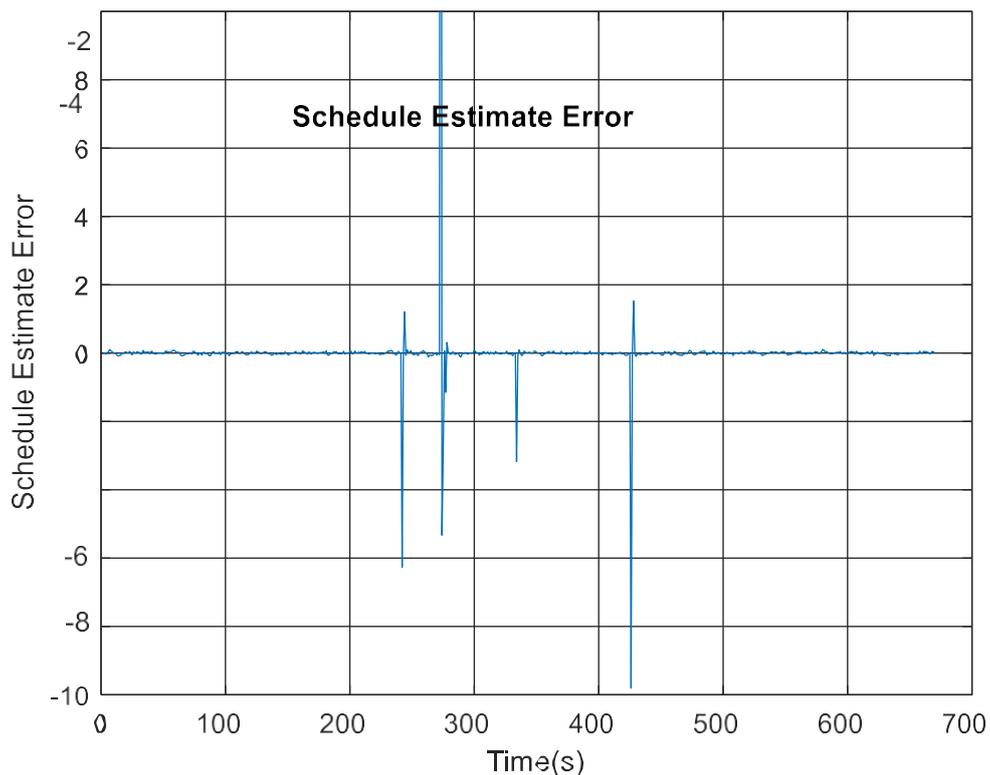
Al examinar la tolerancia al riesgo de los gerentes de programa en Figura está claro que la tolerancia al riesgo superó el 25%. El día 272, las diferencias de costos planificados versus reales no excedieron la tolerancia al riesgo del 25%. El día 240, el programa preveía la entrega

**Cost Estimate Error**

de 32 sistemas. La ejecución real del programa se aceleró a 16 sistemas y estaba fuera del nivel de tolerancia al riesgo del director del programa. Finalmente, el día 420, el programa planeó la entrega de 62 sistemas, pero se quedó corto al entregar solo 16 sistemas. FiguraDe nuevo, muestra que la tolerancia al riesgo se superó el día 420.

2 25%	Día				
	190	240	272	340	420
Planificado	2	22	18894120	32	62
Actual	2	2	18806610	dieciséis	dieciséis
Límite superior	Y	Y	Y	Y	Y
Límite inferior	Y	norte	Y	norte	norte

Tabla 6-5. Resumen de probabilidad de cambio para una tolerancia al riesgo del 25 %  
Mediante el examen Figura, los errores de estimación del cronograma producidos por el IMM coinciden con los cambios planificados del programa en los días: 240, 272, 340 y 420. El



IMM es lo suficientemente sensible como para detectar también los cambios en la estimación del costo. Ver Figu

Figura 6-22. Error de estimación de programación (25%)

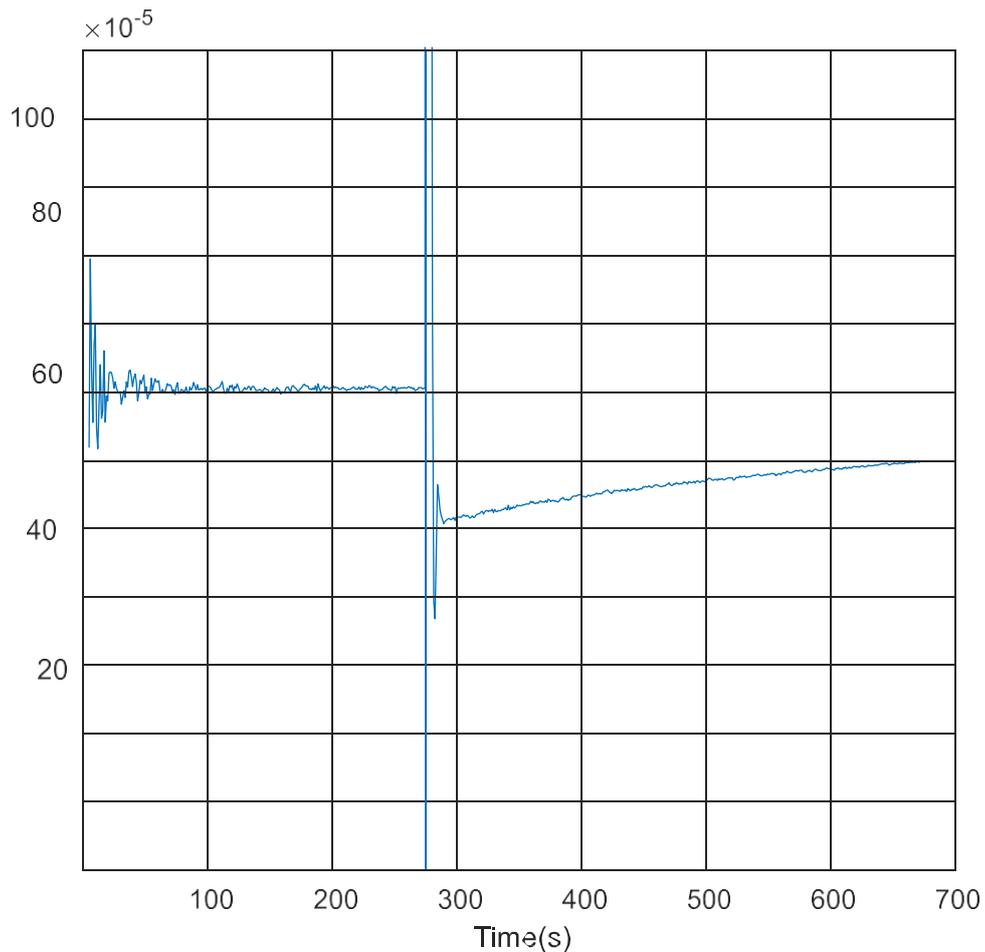


Figura 6-23. Error de estimación de costos (25%)

### 6.6 CASO 6 – ASUMIR EL 50% DEL RIESGO PARA EL PROGRAMA Y EL COSTO

Para el Caso 6, el director del programa ha asumido una tolerancia al riesgo del 50% tanto para el cronograma como para el costo. Para hacerlo, primero debemos configurar los valores de MSM de la siguiente manera:

$$\Pi = \begin{bmatrix} .50 & .50 \\ .02 & .98 \end{bmatrix}. \quad (6-6)$$

La primera fila del MSM reflejará el deseo del director del programa de una tolerancia al riesgo del 50%. Por lo tanto, el valor de la primera fila y la primera columna será 0,50. Esto significa que en cada momento,  $t$ , hay un 50% de posibilidades de que el primer filtro CV prediga con precisión el cronograma y el costo del programa futuro. Cuando ocurre el tiempo,  $t$ , en el que la estimación futura

tiene una precisión inferior al 50%, el modelo cambiará al segundo filtro CV. El segundo filtro CV seguirá prediciendo el cronograma y el costo con una tasa de precisión del 98%. Si la estimación tiene una precisión inferior al 98%, el modelo volverá al primer filtro CV.

## CAPITULO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 6.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS

El número de veces que el modelo cambia proporciona una indicación a los administradores del programa de que el cronograma o costo futuro previsto del programa ha excedido la tolerancia al riesgo definida. La tolerancia al riesgo se computa determinando el 50% del cronograma planificado. Ver Figura. Esto le dará al director del programa una representación visual del riesgo.

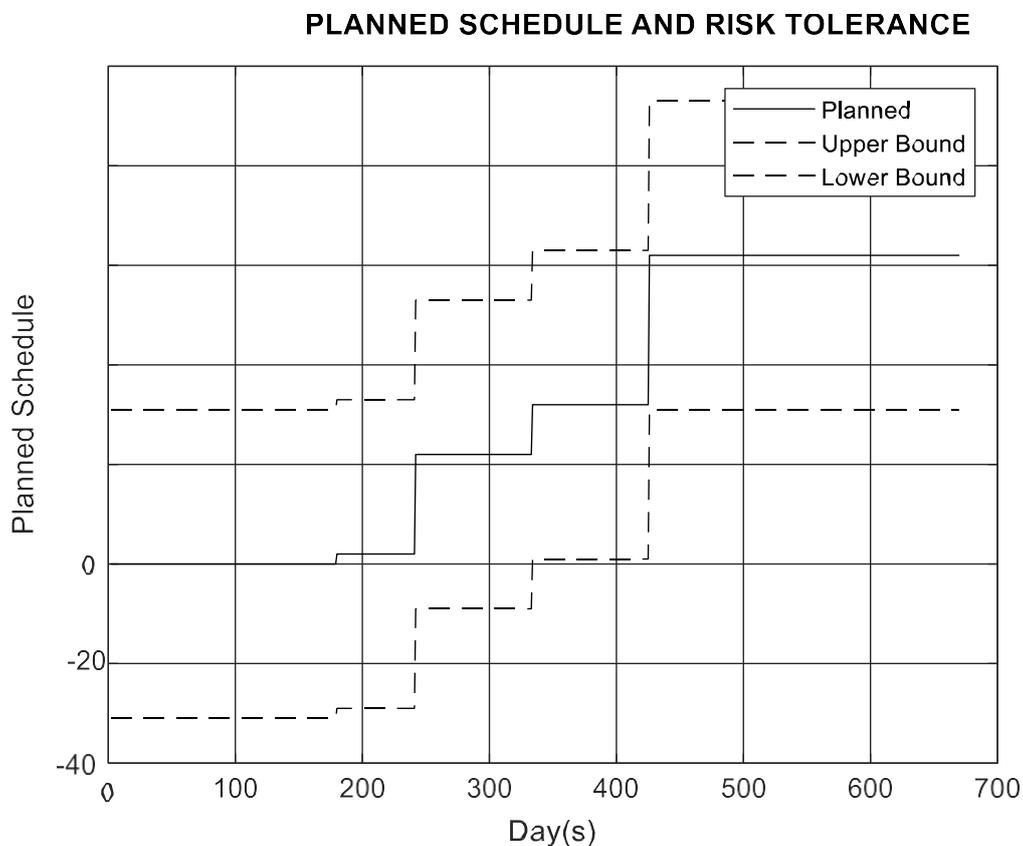


Figura 6-24. Calendario planificado con 50% de tolerancia al riesgo

Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el cronograma planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado. Por ejemplo, en Figura el día 190, el cronograma planificado indica que se planea entregar 2 sistemas. El número real de entregas el día 190 es 2.

Ahora examine el día 240 en Figura. La entrega planificada es 22, pero la entrega real permanece en 2. Se puede observar que el valor real de los días 290 y 340 es menor que el límite inferior; por lo tanto, el programa ha asumido menos del 50% de riesgo. El día 450, el valor real cayó por debajo del límite inferior de 62.

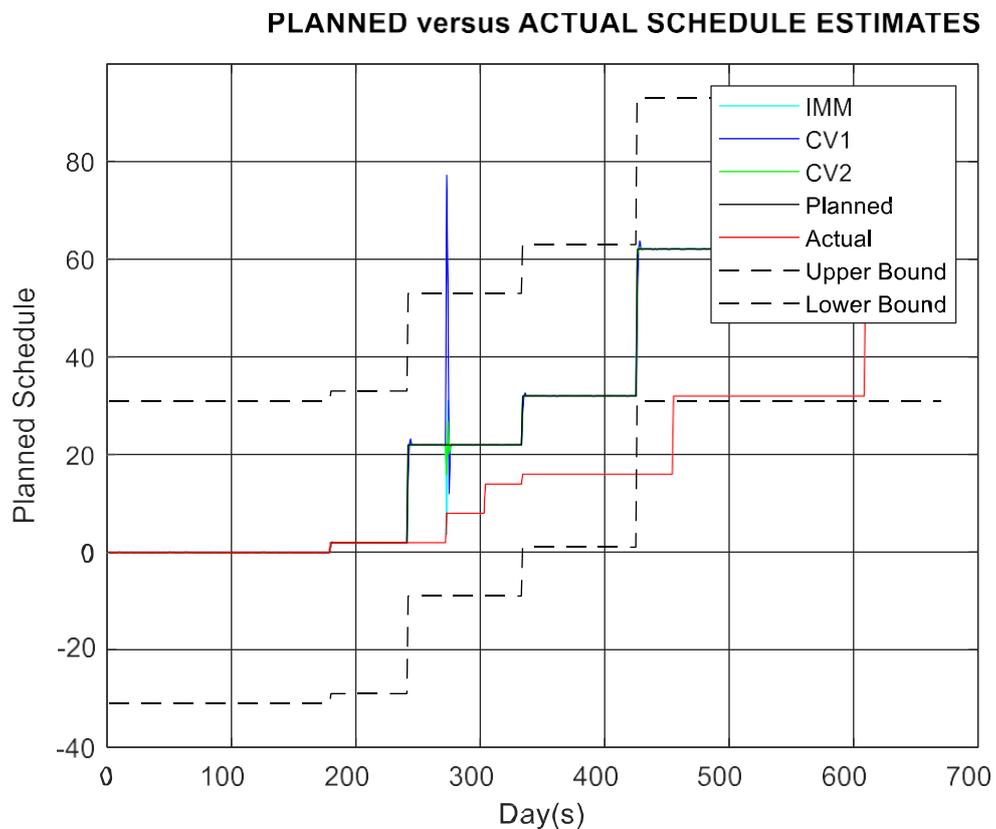


Figura 6-25. Estimaciones del cronograma del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 50%

**Figura 6-26** captura la estimación de costos planificada versus real. Además, se agrega al gráfico una tolerancia al riesgo del 50 % calculando  $\pm 50\%$  del costo planificado. Después de ejecutar el IMM, se debe examinar la comparación entre el IMM y el costo planificado. Se demuestra que el IMM sigue con bastante precisión el cronograma del programa planificado.

Por ejemplo, en Figura, alrededor del día 272, el costo planificado indica un ligero aumento en el costo. Sin embargo, el costo real del programa es consistente con el costo planificado.

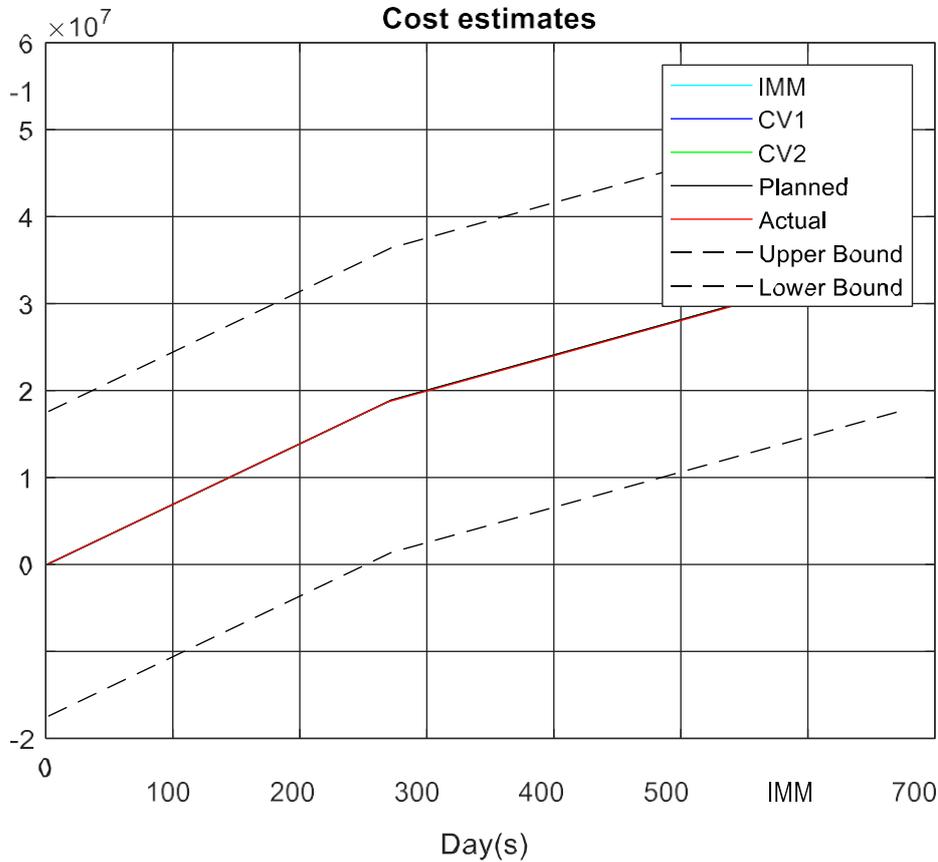


Figura 6-26. Estimaciones de costos del programa planificado versus real asumiendo un riesgo del 50%

**Figura 6-27** muestra las probabilidades de cambio del IMM en función del cronograma y el costo del programa planificado. Se puede observar que el IMM retoma el cronograma planificado del programa y los costos cambian consistentemente en los días 190, 240, 272,

340 y 450 del programa.

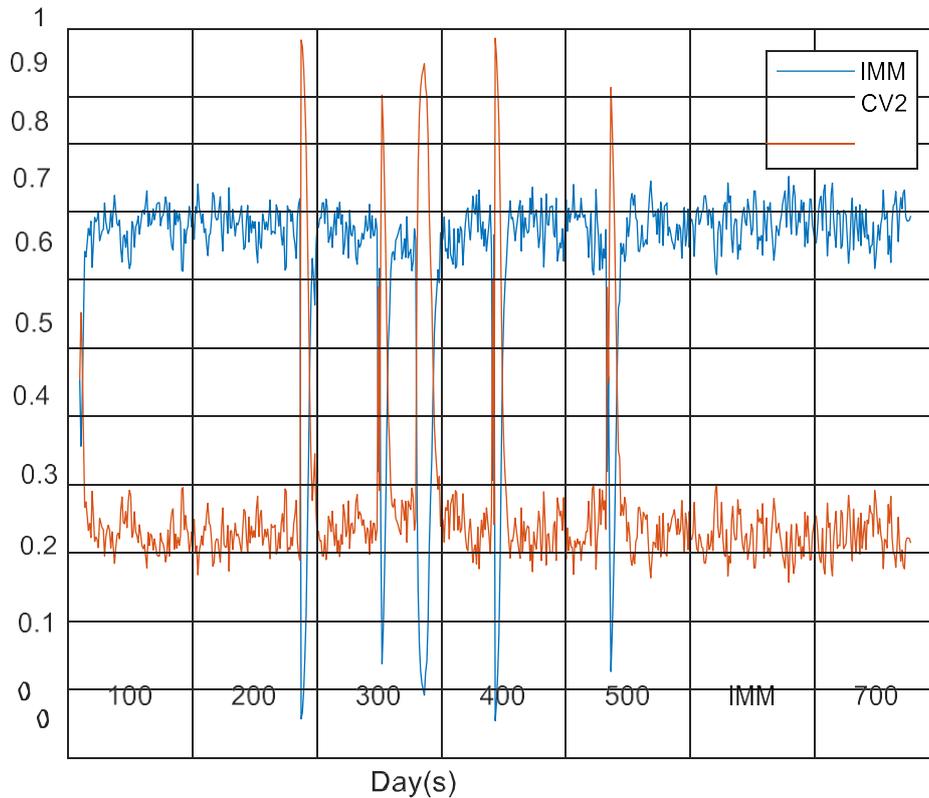


Figura 6-27. Interacción de múltiples probabilidades de cambio de modelo asumiendo un riesgo del 50%

Se puede deducir que el filtro IMM identificó los cambios tanto en el cronograma como en el costo del programa que servirían como indicador para el director del programa de que se ha asumido alguna medida de riesgo. Corresponde al director del programa determinar si ese riesgo está dentro de la tolerancia al riesgo establecida del programa.

**Tabla 6-6** Se presenta un resumen de los puntos en los que la IMM detectó un cambio en el cronograma y costo del programa planificado. El día 190, el programa planeaba entregar 2 sistemas y entregó 2 sistemas. El día 240, el programa tenía previsto entregar 22 sistemas. La entrega real de sistemas del programa el día 240 se mantuvo en 2.

## 6.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON MARCO TEÓRICO

El modelo múltiple interactivo (IMM) se ejecutó utilizando una simulación Monte Carlo dentro de MATLAB. Los resultados producidos por la IMM se compararon con el cronograma y el costo del programa planificado. La tolerancia al riesgo se varió entre el 5% y el 50% para comprender la sensibilidad del modelo. Se utilizó la Matriz de Conmutación de Markov (MSM) para variar las tolerancias al riesgo. Estos valores dentro del MSM impulsan la conmutación entre los dos filtros CV que se ejecutan en paralelo estimando el estado futuro del cronograma y el costo del programa. Los filtros CV utilizan dos ruidos de proceso diferentes para tener en cuenta la incertidumbre en las estimaciones. El filtro CV con la estimación más cercana a la verdad es el filtro CV preferido por el IMM. El MSM logra identificar el cambio entre modelos que coincide con cambios en el cronograma del programa y costos fuera de la tolerancia. El número de veces que el MSM cambia entre el filtro CV de alto ruido de proceso y el filtro CV de bajo ruido de proceso y viceversa permanece constante. Es de destacar que aumenta la tolerancia al riesgo; el número de veces que el cronograma y el costo reales exceden el límite superior o inferior disminuye (ver **Tabla 7-1** y **Cifra 7-1**).

Tolerancia al riesgo	Se superó el límite superior o inferior
5%	3
10%	3
15%	3
20%	3
30%	3
50%	1

Tabla 7-1 Número de veces que el cronograma o el costo real del programa excede el límite superior o inferior de la tolerancia al riesgo

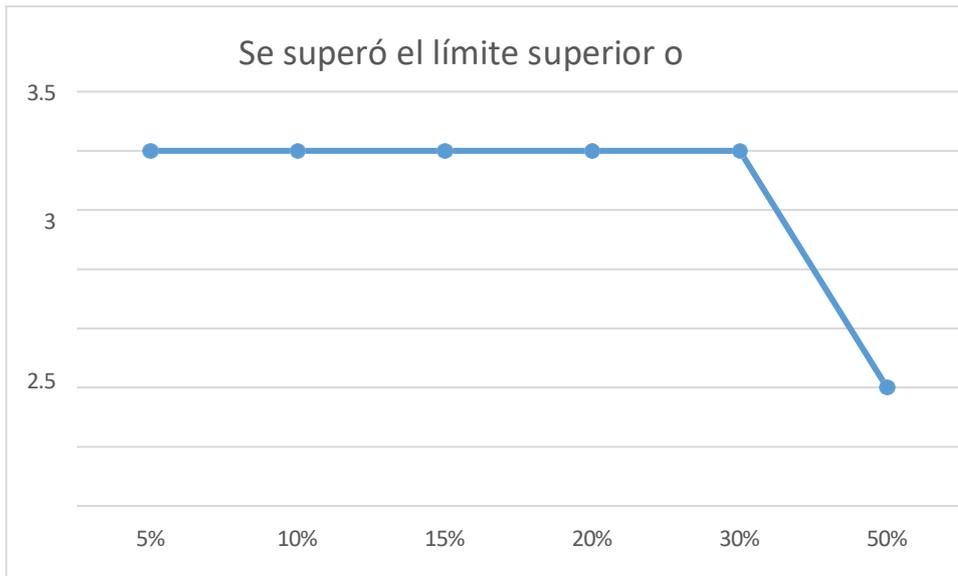


Figura 7-1. Calendario y costo reales versus tolerancia al riesgo

## 7.2 APORTES DE LA INVESTIGACION

Esta investigación aborda las siguientes hipótesis. ¿Puede el IMM predecir el costo, el cronograma y el desempeño futuros del programa? Se ha demostrado que, de hecho, el IMM puede predecir el estado futuro del costo y el cronograma de un programa. Debido a limitaciones de datos, el rendimiento se deja para investigaciones futuras. La ventaja del IMM radica en el hecho de que los filtros de Kalman requieren un modelo de movimiento para ayudar en la predicción del estado futuro. La selección de dos modelos de movimiento de velocidad constante con diferente ruido de proceso permite una mejor estimación del estado futuro del programa. Los modelos de movimiento adicionales, como los modelos de aceleración constante o movimiento de giro constante, se dejan para futuros esfuerzos de investigación.

En segundo lugar, ¿puede la matriz de conmutación de Markov (MSM) dentro de un modelo múltiple interactivo (IMM) predecir el riesgo del programa utilizando límites

superiores e inferiores? Se ha demostrado que la IMM hace un excelente trabajo al ponderar cada modelo de movimiento para estimar con mayor precisión el estado futuro del programa. Se demostró que la matriz de conmutación de Markov (MSM) dentro del modelo múltiple interactivo (IMM) ayuda en la determinación del riesgo del programa al proporcionar una indicación basada en el cambio de modelo en el que el director del programa podría incurrir en riesgo. Al agregar los límites superior e inferior de tolerancia al riesgo adicional, el MSM proporciona al director del programa indicaciones de cuándo el programa podría estar excediendo el nivel de riesgo predeterminado del director del programa.

El concepto de que el riesgo puede superar la aceleración es cierto (es decir, no importa cuántos recursos se agreguen para acelerar un programa, la aceleración no siempre es el resultado final). El programa identificado en esta investigación intentaba acelerarse. Alrededor del día 240, estaba claro que el programa se estaba desacelerando. El programa intentó recuperarse pero nuevamente no logró acelerar el día 450. Al evaluar el riesgo asociado con considerar que el programa se estaba acelerando, la tolerancia al riesgo que indicaba una aceleración fue del 50%. Por lo tanto, el director del programa aceptó una tolerancia al riesgo del 50 % para poder considerar que realmente se estaba acelerando.

Además, al disponer de datos más detallados sobre los programas, el enfoque ofrece la posibilidad de realizar análisis forenses de los programas para determinar qué métodos de aceleración han demostrado ser exitosos o han causado un retraso significativo en el desarrollo del programa. Finalmente, el IMM brinda al director del programa la capacidad de realizar un conocimiento de la situación a un alto nivel y, alternativamente, informar la toma de decisiones a nivel de proyecto.

### 7.3 INVESTIGACION FUTURA

Debido a limitaciones de datos, las derivadas de segundo y tercer orden se dejan para futuras investigaciones. Los datos adicionales sobre tareas/proyectos simultáneos que se ejecutan dentro de un programa proporcionan una oportunidad de evaluar más a fondo los efectos de la aceleración. Los directores de programas también tendrán la capacidad de considerar los datos desde una perspectiva de alto nivel (es decir, conciencia situacional) o desde un nivel muy detallado para informar la toma de decisiones.

No todos los programas son iguales. El desarrollo de programas adopta muchos tamaños y formas. Debido a que el IMM se basa en varios modelos de movimiento, la oportunidad de igualar estrechamente el cronograma del programa, el costo y el perfil de desempeño está dentro de lo razonable. El uso de otros modelos de movimiento, como los modelos de movimiento de aceleración constante, sacudida constante o giro constante, puede proporcionar mejores estimaciones si el programa tiene aumentos muy pronunciados en el costo, el cronograma o el rendimiento.

El IMM también permite emplear más de un modelo de movimiento a la vez. En esta investigación, se utilizaron dos modelos de movimiento de velocidad constante para inicializar los filtros de Kalman. Se pueden emplear filtros Kalman adicionales utilizando varios modelos de movimiento diferentes para estimar con precisión el cronograma, el costo y el rendimiento del programa. Los valores de ruido del proceso también pueden variar ampliamente y se basan en prueba y error. Las simulaciones son necesarias para establecer valores de ruido del proceso que proporcionen resultados significativos

Finalmente, el método mediante el cual se derivan los límites de error se deja para futuras investigaciones. El foco de esta investigación estuvo en el IMM y sus HSH asociados. Existen otros métodos para determinar los límites superior e inferior del riesgo que podrían haberse considerado

Al examinar la tolerancia al riesgo de los gerentes de programa en **Figura 6-25**, está claro que la tolerancia al riesgo no superó el 50%. El día 272, las diferencias de costos planificados versus reales no excedieron la tolerancia al riesgo del 50%. El día 240, el programa preveía la entrega de 32 sistemas. La ejecución real del programa se aceleró a 16 sistemas y estuvo dentro del nivel de tolerancia al riesgo de los administradores del programa. Finalmente, el día 420, el programa planificó la entrega de 62 sistemas, pero no cumplió con la entrega de solo 16 sistemas, lo que representa la tolerancia al riesgo del 50% del administrador del programa

50%	Día				
	190	240	272	340	420
Planificado	2	22	18894120	32	62
Actual	2	2	18806610	dieciséis	dieciséis
Límite superior	Y	Y	Y	Y	Y
Límite inferior	Y	Y	Y	Y	norte

Tabla 6-6. Resumen de probabilidad de cambio para una tolerancia al riesgo del 50 %

Mediante el examen **Figura 6-28**, los errores de estimación del cronograma producidos por el IMM coinciden con los cambios de programa planificados en los días: 240, 272, 340 y 420. El IMM es lo suficientemente sensible como para detectar también los cambios en la estimación de costos. Ver **Figura 6-29**.

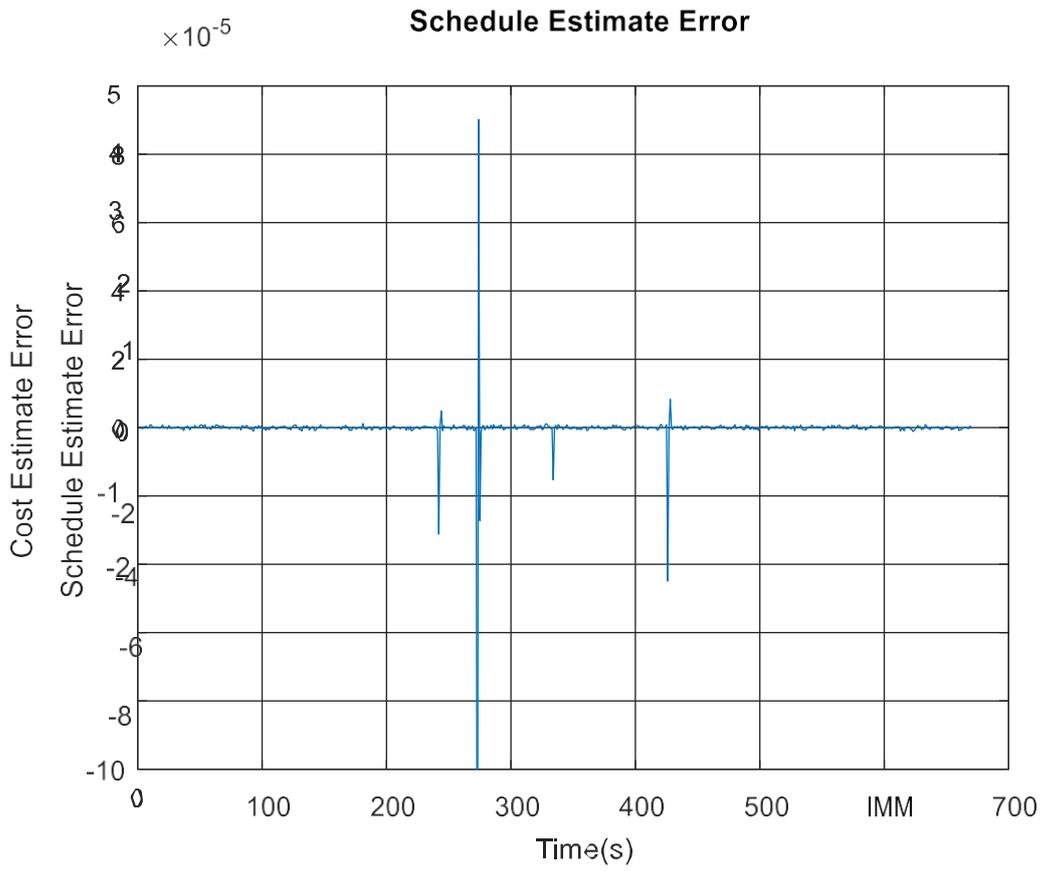


Figura 6-28. Error de estimación de programación (50%)

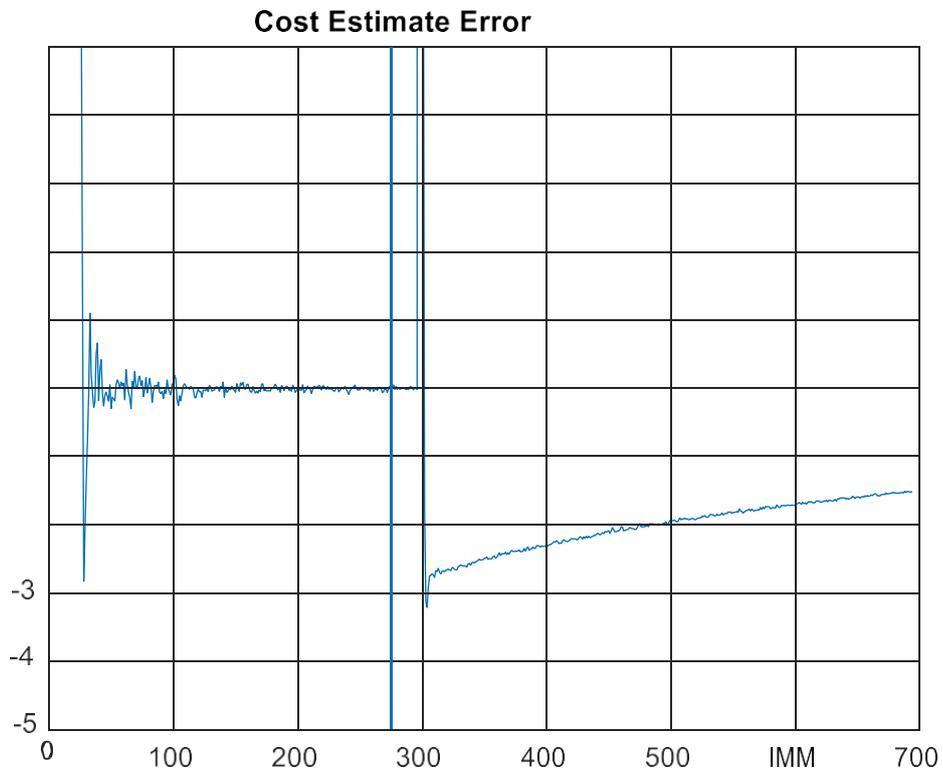


Figura 6-29. Error de estimación de costos (50%)

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El desarrollo tecnológico ha aumentado exponencialmente. Los directores de programas se ven presionados a acelerar el desarrollo. El propósito de esta investigación es evaluar el uso modificado o redefinido de técnicas de estimación para el seguimiento de objetivos para estimar el cronograma, el costo y el desempeño con una tolerancia al riesgo predefinida.
2. Esta investigación utilizó algoritmos de estimación utilizados en sistemas de sensores para estimar el estado actual y futuro de los objetos en el espacio para estimar el costo y el cronograma futuros del programa en forma de un filtro de Kalman. Más específicamente, esta investigación empleó dos filtros de Kalman en forma de modelo múltiple interactivo (IMM) para predecir el estado futuro del programa. El IMM se basa en una matriz de conmutación de Markov (MSM) predefinida para cambiar entre filtros. En esta investigación, se utilizaron los valores de MSM para representar la cantidad de riesgo que un director de programa estaba dispuesto a aceptar.
3. Esta investigación demuestra que el modelo múltiple interactivo puede estimar el cronograma del programa y los valores de costo y proporcionar una indicación de riesgo basada en la matriz de conmutación de Markov (MSM). Se utilizó un proceso de deducción para construir el modelo, mientras que se utilizó un proceso de inducción para analizar los resultados.
4. Como positivista/empirista, esta investigación buscó comprender los procesos del mundo real de manera que se puedan implementar controles para comprender el riesgo asociado con la aceleración. Se hizo una suposición sobre la tolerancia al riesgo de modo que la tolerancia al riesgo varió entre el 5% y el 50%. Se simuló el modelo múltiple interactivo (IMM) para estimar el cronograma y el costo futuro del programa

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- al., B. e. (2020). Patente de EE.UU. nº 5325098.
- todos, A.e. (2019). Patente de EE.UU. nº 5214433.
- Allchin, D. (2001). Tipos de errores. *Perspectivas de la ciencia*, 9(1), 38-58.
- Attarzadeh, IO (2018). Prácticas de gestión de proyectos: los criterios de éxito o fracaso.

*Comunicaciones del IBIMA*, 234-241.

- Axelrod, R. (2005). Avance del arte de la simulación en las ciencias sociales. En J.-P. Rennard (Ed.), *Manual de investigación sobre informática inspirada en la naturaleza para la economía y la gestión*. Hershey, PA: Grupo de ideas.
- Babu, A. y Suresh, N. (2020). Teoría y Metodología: Gestión de Proyectos con consideraciones de tiempo, costo y calidad. *Revista europea de investigación operativa*, 88, 320-327.
- Ballesteros-Pérez, P. (2017). Modelar los límites del seguimiento rápido del proyecto. *Automatización en la Construcción*, 231-241.
- Bar-Shalom, Y., Rong Li, X. y Kirubarajan, T. (2021). *Estimación con Aplicaciones al Seguimiento y Navegación*. Wiley-Interscience.
- Beleiu, I., Crisan, E. y Nistor, R. (sin fecha). Principales factores que influyen en el éxito del proyecto.

*Investigación de Gestión Interdisciplinaria XI*, 59-72.

- Bondugula, S. (2019). Control óptimo de proyectos basado en el enfoque de Kalman Fitler para rastrear y pronosticar el desempeño del proyecto. Tesis de Maestría, Universidad Texas A&M. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1969.1/ETD-TAMU-2019-05-263>
- Bratley, P., Fox, B. y Schrage, L. (2019). *Una guía para la simulación (Segunda edición ed.)*. Nueva York: Springer-Verlag.

- Byung, CK (2007). Previsión del progreso del proyecto y advertencia anticipada de sobrecostos del proyecto con métodos probabilísticos. Tesis Doctoral, Universidad Texas A&M. Obtenido de <https://oaktrust.library.tamu.edu>
- Li, X.a. (2003, octubre). Estudio sobre el seguimiento de objetivos en maniobras, Parte 1: Modelos dinámicos.  
*Transacciones IEEE sobre sistemas aeroespaciales y electrónicos*, 39(4).
- Mabus, HR (22 de enero de 2015). Innovación del grupo de trabajo. Memorandum para el Subsecretario de Marina.
- McCabe, DS-C. (2005). Patente de EE.UU. nº 7030809.
- *Guías de malla*. (Dakota del Norte). Obtenido de ¿Cómo se puede mejorar la validez y la confiabilidad?:[www.meshguides.org](http://www.meshguides.org)
- Mohajan, Hong Kong (2017). Dos criterios para buenas mediciones en investigación: validez y confiabilidad. *Anales de la Universidad Spiru Haret*, 17(3), 58-82.
- Morgan, J. (6 de julio de 2015). Forbes. Obtenido de Los 5 tipos de estructuras organizativas: Parte 1, La jerarquía: <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2015/07/06/the-5-tipos-de-estructuras-organizativas-parte-1-la-jerarquia/#5e3fdc42525>
- Morgan, J. (2015, 13 de julio). Forbes. Obtenido de Los 5 tipos de estructuras organizativas: Parte 3, Organizaciones planas: <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2015/07/13/the-5-tipos-de-estructuras-organizativas-parte-3-organizaciones-planas/#29b48a666caa>
- Munns, A. y Bjeirmi, B. (2020). El papel de la gestión de proyectos en el logro del éxito del proyecto.  
*Revista Internacional de Gestión de Proyectos*, 81-87.
- Nicoletti, S. y Nicolo, F. (1998). Un modelo de decisión de ingeniería concurrente: Gestión del flujo de información de las actividades del proyecto. *Revista Internacional de Economía de la Producción*, 54, 115-127.

- Opelt, K. (2018). Superación de la ley de Brooks. Conferencia Agile 2018 (págs. 208-211). Sociedad de Computación IEEE.

- Pitch, M., Loch, C. y De Meyer, A. (2002). Sobre la incertidumbre, la ambigüedad y la complejidad en la gestión de proyectos. *Ciencias de la gestión*, 1008-1023.

Pub. L. 96-517. (1980, 12 de diciembre).

*Informe a la Comisión Presidencial sobre el accidente del transbordador espacial*

*Challenger*. (1986, 6 de junio).

- Obtenido de la División de Historia de la NASA: [https://history.nasa.gov/index\\_new.html](https://history.nasa.gov/index_new.html)
- Roemer, T., Ahmadi, R. y Wang, R. (2004). Fallos y superposiciones simultáneos en el desarrollo de productos. *Investigación de operaciones*, 52(4), 311-326.
- Rose, S., Spinks, N. y Canhoto, A. (2015). *Investigación de Gestión; Aplicación de los principios*. dieciséis.
- Rose, S., Spinks, N. y Canhoto, A. (2015). *Investigación de gestión: aplicación de los principios*.
- Rothchild, I. (27 de diciembre de 2011). *Inducción, Deducción y Método Científico*. Obtenido de An Eclectic Overview of the Practice of Science: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.131.2694>
- Sauser, B., Reilly, R. y Shenhar, A. (2019). ¿Por qué fracasan los proyectos? Cómo la teoría de la contingencia puede proporcionar nuevos conocimientos: un análisis comparativo de la pérdida del Mars Climate Orbiter de la NASA. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos*, 27, 665-679.
- Senge, P. (1990). *La Quinta Disciplina*. Nueva York: Doubleday.
- Sharif, MN e Islam, MN (1980). La distribución de Weibull como modelo general para pronosticar el cambio tecnológico. *Previsión tecnológica y cambio social*, 18(3), 247-256.

- Singer, D., Doerry, N. y Buckley, M. (2019). ¿Qué es el diseño basado en conjuntos? Revista de ingenieros navales, 31-43.
- Sterman, J., Repenning, N. y Kofman, F. (1997). Efectos secundarios inesperados de programas de calidad exitosos: exploración de una paradoja de la mejora organizacional. Ciencias de la gestión.
- Surbhi, S. (9 de marzo de 2017). Diferencia entre validez y confiabilidad. Obtenido de Diferencias clave: <https://keydifferences.com/difference-between-validity-and-reliability>
- Swink, M. (2003, diciembre). Completar proyectos a tiempo: cómo la aceleración de proyectos afecta el desarrollo de nuevos productos. Revista de Gestión de Ingeniería y Tecnología, 20(4), 319-344.
- Tuckerman, BW (1993). Secuencias de desarrollo en pequeños grupos. Boletín Psicológico, 63(6), 384.
- Ulgen, OM (sin fecha). Metodología de simulación: la perspectiva de un profesional.
- Verner, JM, Overmeyer, SP y McCain, K. (1999). En los 25 años transcurridos desde el Mes del Hombre Místico, ¿qué hemos aprendido sobre la gestión de proyectos? Tecnología de la información y software, 41, 1021-1026.
- Wallace, SE y Little, G. (2013). Análisis de las capacidades de la flota utilizando subprocesos de misión/cadenas de muerte. Publicación en línea: Sociedad Estadounidense de Ingenieros Navales. Recuperado de [https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/ASNEday2013/Wallace\\_Paper.pdf](https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/ASNEday2013/Wallace_Paper.pdf)
- Tejedor, P. (2010). Comprensión de programas y proyectos: Oh, hay una diferencia. Congreso Global de PMI Asia Pacífico. Melbourne, Australia.
- Wheelan, S. (2019). Tamaño del grupo, desarrollo del grupo y productividad del grupo. Investigación en grupos pequeños, 40(2), 247-262.

- Winter, G. (25 de febrero de 1998). Una discusión comparada sobre la noción de validez en la investigación cualitativa y cuantitativa. Obtenido de El Informe Cualitativo:<http://www.nova.edu/ssw/QR/QR4-3/winter.html>
- Yassine, A., Sreenivas, R. y Zhu, J. (2018). Gestionar el intercambio de información en el desarrollo de productos. *Revista europea de investigación de operaciones*, 184, 311-326

## REPORTE DE TURNITIN

### ● 2% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 1% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados

#### FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	<b>repositorio.autonomadeica.edu.pe</b> Internet	<1%
2	<b>Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-03-24</b> Submitted works	<1%
3	<b>Universidad de San Buenaventura on 2015-06-19</b> Submitted works	<1%
4	<b>Universidad Francisco de Vitoria on 2023-10-17</b> Submitted works	<1%
5	<b>Universidad Privada Boliviana on 2022-09-14</b> Submitted works	<1%
6	<b>repository.urosario.edu.co</b> Internet	<1%
7	<b>Instituto Madrileno de Formacion on 2015-08-10</b> Submitted works	<1%
8	<b>edusel.wordpress.com</b> Internet	<1%