

ANEXO B. Análisis Dinámica de Sistemas

Contenido

| | |
|---|----|
| Lista de figuras | 1 |
| Descripción | 4 |
| 1. Modelamiento del proyecto | 5 |
| 1.1. Fase: Inicio | 5 |
| 1.1.1. Variables Auxiliares..... | 5 |
| 1.1.2. Variables de Nivel..... | 9 |
| 1.1.3. Variables de Flujo | 10 |
| 1.2. Fase: Planeación..... | 10 |
| 1.2.1. Variables Auxiliares..... | 10 |
| 1.2.2. Variables de Nivel..... | 15 |
| 1.2.3. Variables de Flujo | 16 |
| 1.3. Fase: Ejecución | 16 |
| 1.3.1. Variables Auxiliares..... | 16 |
| 1.3.2. Variables de Nivel..... | 20 |
| 1.3.3. Variables de Flujo | 21 |
| 1.4. Fase: Seguimiento y Control..... | 22 |
| 1.4.1. Variables Auxiliares modelo CPI..... | 24 |
| 1.4.2. Variables de Nivel modelo CPI | 25 |
| 1.4.3. Variables de Flujo modelo CPI..... | 26 |
| 1.4.4. Variables Auxiliares modelo SPI..... | 26 |
| 1.4.5. Variables de Nivel modelo SPI..... | 27 |
| 1.4.6. Variables de Flujo modelo SPI | 27 |
| 2. Pruebas y Estabilidad del Sistema | 27 |
| Bibliography | 67 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1Modelo fase de inicio | 8 |
| Figura 2Modelo fase de planeación | 13 |
| Figura 3Modelo Fase Ejecución | 18 |
| Figura 4Modelo fase Seguimiento y Control – CPI..... | 23 |
| Figura 5Modelo fase Seguimiento y Control – SPI..... | 23 |

| | |
|--|----|
| Figura 6Detalle parámetros variable Valor Ganado..... | 24 |
| Figura 7Diagrama de dispersión y Trendline..... | 29 |
| Figura 8Detalle Ventana de parametrización de variables Vensim | 29 |
| Figura 9Diagramas de dispersión y trendline variables fase Inicio | 31 |
| Figura 10Detalle de configuración de ecuaciones fase Inicio..... | 32 |
| Figura 11Modelo base fase Inicio..... | 32 |
| Figura 12Graficas de simulación base fase Inicio | 32 |
| Figura 13Modelo ajustado fase Inicio..... | 33 |
| Figura 14Graficas de simulación consistentes fase Inicio | 33 |
| Figura 15Diagramas de dispersión y trendline variables Planeación..... | 35 |
| Figura 16Detalle de configuración de ecuaciones fase Planeación..... | 35 |
| Figura 17Modelo base fase Planeación..... | 36 |
| Figura 18Graficas de simulación base fase Planeación | 36 |
| Figura 19Modelo ajustado fase Planeación | 37 |
| Figura 20Graficas de simulación consistentes fase Planeación | 37 |
| Figura 21Detalle de configuración de ecuación fase Ejecución | 39 |
| Figura 22Modelo base fase Ejecución | 40 |
| Figura 23Graficas de simulación base fase Ejecución..... | 40 |
| Figura 24Modelo ajustado fase Ejecución | 41 |
| Figura 25Graficas de simulación consistentes fase Ejecución..... | 42 |
| Figura 26Configuración funcional de variables EV, PV y Rendimientos | 44 |
| Figura 27Modelo inestable de costos fase Seguimiento y Control | 45 |
| Figura 28Modelo estable de costos fase Seguimiento y Control | 45 |
| Figura 29 Modelo estable de alcance fase Seguimiento y Control | 46 |
| Figura 30 Tendencia SPI ideal fase Seguimiento y Control | 46 |
| Figura 31 Espectro de Salida fase Inicio - FAO=0.6 | 47 |
| Figura 32Espectros de Salida y Sensibilidad - fase Inicio FAO (0.6, 1, 1.5)..... | 48 |
| Figura 33 Espectro de Salida fase Inicio - FAO=2 | 48 |
| Figura 34 Simulación no valida fase Inicio FAO=0 | 49 |
| Figura 35 Espectro de salida fase Inicio #Sh | 49 |
| Figura 36 Espectro de salida fase inicio Rango critico | 50 |
| Figura 37Espectro de salida fase Inicio T.R. cliente..... | 50 |
| Figura 38 Análisis de Sensibilidad fase Inicio - Requerimientos Recibidos | 51 |
| Figura 39 Análisis de Sensibilidad fase Inicio – APU’s..... | 51 |
| Figura 40 Análisis de Sensibilidad fase Inicio - Intervenciones del cliente..... | 52 |
| Figura 41 Espectro de salida fase Planeación FAO | 53 |
| Figura 42 Simulación no valida fase Planeación FAO=2.1 | 53 |
| Figura 43 Espectro de salida fase Planeación #Interesados | 54 |
| Figura 44 Simulación no valida fase Planeación #Sh=42..... | 54 |
| Figura 45 Espectro de salida fase Planeación T. Construcción | 55 |
| Figura 46 Análisis de Sensibilidad fase Planeación - Integración de Requerimientos | 55 |
| Figura 47 Análisis de Sensibilidad fase Planeación - WP&PP..... | 56 |
| Figura 48 Análisis de Sensibilidad fase Planeación - Planeación del Proyecto..... | 56 |
| Figura 49 Espectro de salida fase Ejecución - FAO | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 50 Simulación no valida fase Ejecución / S&C FAO<0..... | 58 |
| Figura 51 Espectro de salida fase Ejecución E. Ingeniería | 59 |
| Figura 52 Espectro de salida fase Ejecución PSCf | 60 |
| Figura 53 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución Ingeniería de Detalle..... | 60 |
| Figura 54 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución – Ingeniería en Construcción..... | 61 |
| Figura 55 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución - Construcción para Validación | 61 |
| Figura 56 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución - Construcción completa en Uso..... | 62 |
| Figura 57 Espectro de salida fase S&C CPI - variación 1 | 63 |
| Figura 58 Espectro de salida fase S&C CPI - variación 2 | 63 |
| Figura 59 Espectro de salida S&C SPI - variación 1 | 64 |
| Figura 60 Espectro de salida S&C SPI - variación 2 | 65 |
| Figura 61 Análisis de Sensibilidad fase S&C - CPI..... | 65 |
| Figura 62 Análisis de Sensibilidad fase S&C - SPI..... | 66 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Listado de variables fase Inicio..... | 8 |
| Tabla 2 Listado de variables fase Planeación | 13 |
| Tabla 3 Listado de variables fase Ejecución..... | 19 |
| Tabla 4 Listado de variables fase Seguimiento y Control..... | 24 |
| Tabla 5 Tabla base de cálculo variables constantes | 28 |
| Tabla 6 Rangos de Criticidad por número de APU's..... | 28 |
| Tabla 7 Datos de variables constantes fase Inicio..... | 30 |
| Tabla 8 Valores de nivel y estabilidad fase Inicio | 30 |
| Tabla 9 Datos de variables constantes fase Planeación | 34 |
| Tabla 10 Valores de nivel y estabilidad fase Planeación | 34 |
| Tabla 11 Datos de variables constantes fase Ejecución | 38 |
| Tabla 12 Valores de nivel fase Ejecución | 38 |
| Tabla 13 Datos de variables constantes fase Seguimiento y Control..... | 42 |
| Tabla 14 Valores de nivel fase Seguimiento y Control..... | 43 |
| Tabla 15 Variaciones agrupadas fase Ejecución PSC f | 59 |

Descripción

La dinámica de sistemas ha sido utilizada en muchas ocasiones para resolver problemas complejos (Amelia, Jung, & Iurchenko, July 20-24, 2014), como herramienta de simulación nos permite identificar las variables críticas con sus rangos y valores predeterminados en búsqueda de una operación efectiva y óptima.

Toda organización o proceso requiere de mejora continua, es así, como las nuevas políticas organizacionales deben generar crecimiento organizacional y optimización de métodos para alcanzar objetivos primordiales; pero ¿cómo saber que una política puede ser eficiente?, solo a través de un modelo basado en dinámica de sistemas se puede resolver este tipo de inquietudes y sin ningún tipo de costo o intervención real sobre el sistema.

La dinámica de sistemas emplazada como herramienta para analizar la complejidad en la interacción de los distintos actores y ciclos que tiene un proyecto tipo contrato EPC, adquiere mérito preponderante en la forma que se puede evidenciar las distintas correlaciones entre los ciclos de vida del proyecto. La relación inercial que tiene este tipo de proyectos con las buenas prácticas en la gerencia moderna de proyectos y a su vez establecer, sopesar, identificar y determinar el orden metodológico de actuación de los distintos factores y actores para llevar a cabo proyectos de tal envergadura. Para ello este artículo establece los elementos críticos que influyen en el desarrollo de este tipo de contratos, identifica sus actores y establece sus ciclos dominantes, de manera tal que se puedan integrar en un proceso lógico que permita modelarlo y analizar sus variables predominantes. Como último fin se establecen las mejoras para futuros análisis dentro de la dinámica de sistemas que permita establecer la ruta comprobable de un modelo de planificación, seguimiento y control para este tipo de proyectos

La planeación, el seguimiento y el control dentro del desarrollo de un proyecto tipo contrato EPC (*Engineering, Procurement, and Construction*). Implica una gran cantidad de interacciones por parte de actores incidentes en la dinámica misma del contrato, Es de manera preponderante tener el conocimiento de los elementos inerciales del contrato EPC y los distintos factores influyentes que tienen una gran cantidad de variables que impactan la correcta ejecución del proyecto. Es allí donde se tiene el punto de partida para el análisis de la dinámica de sistemas; identificar la influencia que tienen las especificaciones provenientes por parte del contratante, los detalles previamente desarrollados durante la ingeniería previa a la ejecución del proyecto. así mismo es relevante determinar los requerimientos finales del proyecto, dentro de los parámetros de tiempo, los rangos de calidad y los costos asociados de manera directa e indirecta en el proyecto. (Federación internacional de ingenieros consultores; FIDIC, 2017)

Realizar el análisis de dinámica de sistemas de este tipo de proyectos, y vistos a la luz de la complejidad y gran cuantía que se destinan para la ejecución de estos en distintas industrias a nivel nacional y global representa un reto importante para brindar un punto de visto sistemático que permita la comprensión precisa de las relaciones, interacciones y dinámicas presentes dentro

de estos proyectos, comprender cuales los elementos principales y su relevancia. Y de la misma forma establecer los modelos de actuación apropiados integrados en un modelo de planeación seguimiento y control que integre de manera holística la dinámica de sistemas y la gerencia de proyectos de manera efectiva. Las distintas situaciones problemáticas al ser analizadas por medio de la dinámica de sistemas permiten visualizar de manera integrada todas las variables. Permite entender bajo las proyecciones y la integración de los resultados la base teórica de un modelo que integre la gerencia moderna de proyectos en proyectos tipo contratos EPC en donde ha sido relegada a procesos menores la gerencia de proyectos.

En este capítulo se presenta las variables por fase (inicio, planeación, ejecución y seguimiento & control) del proyecto, su modelamiento y posterior estabilidad y análisis de sensibilidad en cada una de estas para un proyecto tipo contrato EPC. Cada modelo utilizará tres tipos de variables: auxiliares, de nivel y de flujo. Las variables de nivel están relacionadas con la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud, las variables de flujo básicamente muestran la variación por unidad de tiempo o medida de simulación de las variables de nivel y las variables auxiliares están enfocadas a dar soporte al sistema y apoyar las variables de flujo.

1. Modelamiento del proyecto

El modelado del proyecto se realizará en 3 fases, inicio, planeación y ejecución, esta última contiene adicionalmente 2 hojas paralelas en el análisis que están relacionadas con el seguimiento y control del proyecto. Los dos sistemas paralelos muestran específicamente la variación de los indicadores CPI (*Cost Performance Index*) y SPI (*Schedule Performance Index*) a partir de los valores de valor ganado, valor planeado y costo real que están representados como variables auxiliares en el modelo mismo.

1.1. Fase: Inicio

Esta fase tiene como propósito simular la gestión de los procesos que la organización realiza en la iniciación de un proyecto EPC, dando relevancia a los requerimientos de un proyecto, el número de APU's (análisis de precio unitario) y finalmente la importancia de las dinámicas que se desarrollan entre la organización y sus clientes. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El modelo considera 21 variables que están relacionadas a los ejes fundamentales que se mencionan en el párrafo anterior. Ver Tabla 1 Listado de variables fase Inicio

1.1.1. Variables Auxiliares

- **Numero de licitaciones:** Referencia las ofertas recibidas por la organización en un periodo de simulación (semana) provenientes de distintas industrias, estas deben evaluarse por un proceso de conveniencia y experticia del área especializada. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada 1.1.1 y presenta un rango numérico de 10 a 85 licitaciones por semana.

- **Factor de presentación:** Referencia el porcentaje de ofertas que se deciden presentar por la organización respecto al número total recibidas. La validación es responsabilidad del área comercial en conjunto con las gerencias. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 1.2.1 y presenta un rango numérico de 0.1 a 0.9.
- **Factor de efectividad:** Referencia el porcentaje de ofertas ganadas por la organización respecto al número total presentadas. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 1.3.1 y presenta un rango numérico de 0.1 a 0.9.
- **Tasa de complejidad 1:** Representa el factor que incide sobre el análisis y transformación de los requerimientos en análisis de precios unitarios. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 1.4.2 y está determinada por una función polinomial continua que es dependiente del número de requerimientos recibidos en la respectiva unidad de simulación.
- **Tasa de complejidad 2:** Representa el factor que influye en la rapidez con la cual se realizan los APU's. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 1.5.3 y está determinada por una función polinomial continua que es dependiente del número APU's a desarrollar en la respectiva unidad de simulación.
- **Factor PI Stakeholders:** Representa el factor de incidencia que tienen sobre el desarrollo de los requerimientos el número de *stakeholders* del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 1.6.4 y está determinada por una función polinomial continua que es dependiente del número de stakeholders del proyecto en la respectiva unidad de simulación.
- **FAO (factores ambientales de la organización):** Son todos aquellos procesos, métodos y formas que la organización tiene adoptadas para el desarrollo de sus actividades, en ellas influyen también las herramientas, las aplicaciones, los estándares y los sistemas de gestión integrados. Representa un factor de reducción de tiempos al momento en que usan de manera integrada todos los elementos aunados a la experiencia del talento humano. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 1.8.6 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.

- **Modelo PSC a:** Representa el factor de incidencia de las herramientas, técnicas, procesos y protocolos integrados que permiten a la organización el desarrollo de análisis de precios unitarios, para ello integra matemáticamente las variables tasa de complejidad 1, los FAO y el factor PI de *stakeholders*.
- **Modelo PSC b:** Representa el factor de incidencia de la integración de factores ambientales, procesos, procedimientos, técnicas y protocolos internos; que de manera conjunta sirven para la realización las aclaraciones con el cliente para la estructuración rápida de los APUS, para ello integra matemáticamente las variables tasa de complejidad 2, los FAO y el factor PI de *stakeholders*.

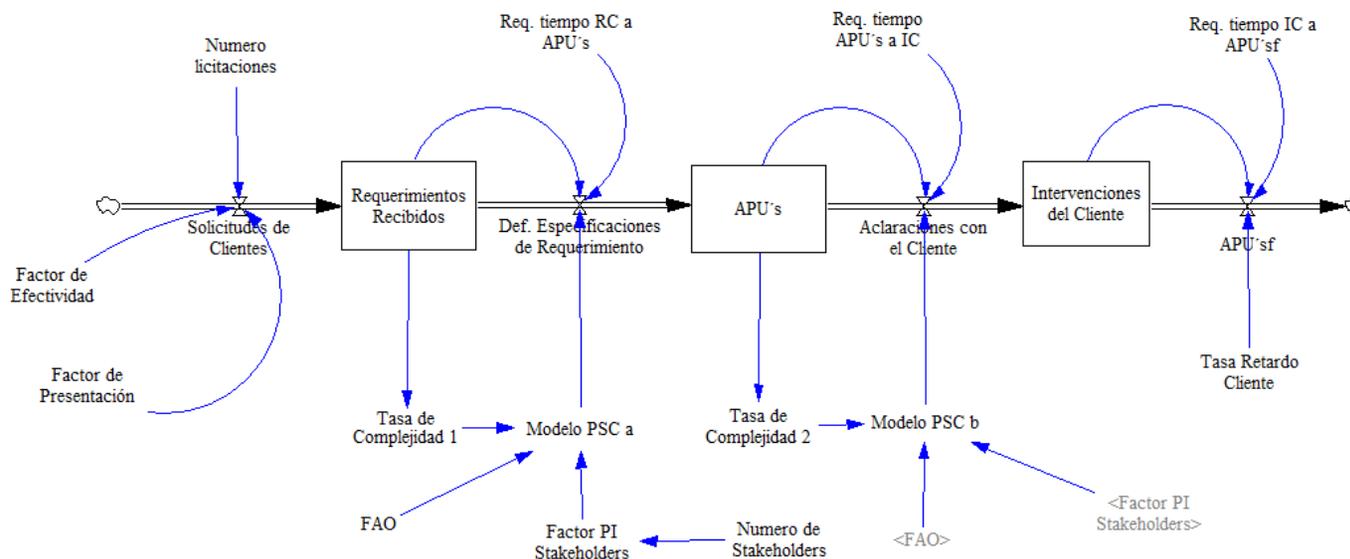


Figura 1 Modelo fase de inicio

Tabla 1 Listado de variables fase Inicio

| # Variable | Variable | Pregunta | Cod. Pregunta | Modelo | R. Mínimo | R. Máximo |
|------------|--|----------|---------------|---------------|-----------|-----------|
| 1 | Número de Licitaciones | 1 | 1.1.1 | n/a | 10 | 85 |
| 2 | Factor de Presentación | 1 | 1.2.1 | n/a | 0.1 | 0.9 |
| 3 | Factor de Efectividad | 1 | 1.3.1 | n/a | 0.1 | 0.9 |
| 4 | Tasa de Complejidad 1 (Req. recibidos) | 2 | 1.4.2 | PSC a | 1 | 5 |
| 5 | Tasa de Complejidad 2 (APU's) | 3 | 1.5.3 | PSC b | 1 | 5 |
| 6 | Factor PI Stakeholders | 4 | 1.6.4 | PSC a - PSC b | 1 | 5 |
| 7 | Tasa Retardo Cliente | 5 | 1.7.5 | n/a | 0.2 | 1 |
| 8 | FAO | 6 | 1.8.6 | PSC a - PSC b | 0.2 | 1 |
| 9 | Número de Stakeholders | N/A | N/A | n/a | 1 | 20 |
| 10 | Requerimiento Tiempo RC a APU's | N/A | N/A | n/a | 0.5 | 1.5 |
| 11 | Requerimiento Tiempo APU's a IC | N/A | N/A | n/a | 0.5 | 1.5 |
| 12 | Requerimiento Tiempo IC a APU'sf | N/A | N/A | n/a | 0.5 | 1.5 |

- **Requerimiento de tiempo RC (Requerimientos Recibidos) a APU's (Análisis de precio unitario):** Referencia el factor de tiempo necesario para procesar los requerimientos recibidos y desarrollar los respectivos APU's. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.5 a 1.5.
- **Requerimiento de tiempo APU's (Análisis de precio unitario) a IC (Intervenciones del cliente):** Referencia el factor de tiempo necesario para que la integración de la información entre el área comercial y el cliente sea efectiva. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.5 a 1.5.
- **Requerimiento de tiempo IC (intervenciones del cliente) a APU'sf (APU's definitivos):** Referencia el factor de tiempo necesario para la validación final de los APU's del proyecto. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.5 a 1.5.
- **Numero de interesados (stakeholders):** Son todas aquellas personas que tienen influencia sobre el proyecto e inciden sobre los requerimientos, de esta manera son valorados de acuerdo con su poder e interés frente al mismo. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 1 a 20.
- **Tasa de Retardo Cliente:** Representa la importancia que tiene el cliente frente a la gestión de la validación de los APU's; así, esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 1 a 20.

1.1.2. Variables de Nivel

- **Requerimientos Recibidos:** Representa la cantidad de requisitos de las distintas ofertas aprobadas por la organización a ser licitadas, en este influye la complejidad de los requerimientos, la capacidad del equipo y el modelo de planeación, seguimiento y control (PSC a). Este proceso debe integrar herramientas, técnicas y estándares necesarios para la evacuación eficiente del volumen de requerimientos.

- **Análisis de precios unitarios APU's:** Representa el número de APU's que se encuentran en proceso de desarrollo bajo el set up de medición del modelo, para ello se debe tener en cuenta el detalle de todos los recursos (horas hombre, materiales, equipos / herramientas, y logística) necesarios para la cuantificación monetaria de cada ítem del proyecto.
- **Intervenciones del Cliente:** Representa el número de APU's que se encuentran bajo revisión por parte del cliente bajo el set up de medición del modelo, esto determina la consolidación final para el valor del contrato.

1.1.3. Variables de Flujo

- **Solicitudes de Cliente:** Representa la variación del ingreso de requerimientos en la variable de nivel denominada: Requerimientos Recibidos.
- **Definición de Especificaciones de requerimientos:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Requerimientos Recibidos y APU's).
- **Aclaraciones con el cliente:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (APU's e Intervenciones del Cliente).
- **APU'sf:** Representa la variación de salida de APU's en la variable de nivel denominada: Intervenciones del cliente, estos determinan los APU's finales del proyecto.

1.2. Fase: Planeación

Esta fase tiene como propósito simular la gestión de los procesos que la organización realiza en la fase de planeación de un proyecto EPC, priorizando elementos como: la línea base para la medición de desempeño PMB, los paquetes de trabajo (conjunto de actividades programadas y cuantificadas) y los paquetes de planeación (actividades previstas sin programar ni cuantificar). Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El modelo considera 22 variables que están relacionadas a los ejes fundamentales que se mencionan en el párrafo anterior. Ver Tabla 2 Listado de variables fase Planeación

1.2.1. Variables Auxiliares

- **APUS sf:** Relacionan los APU's (análisis de precio unitario) definitivos y aprobados por el cliente provenientes de la fase de inicio, estos son la materia prima en la definición de la PMB del proyecto basados en los desarrollos previos relacionados con los paquetes de trabajo y de planeación pertinentes al proyecto.
- **Factor de especialista:** Representa el factor de incidencia que tiene el grupo de especialistas sobre el análisis de los datos recibidos desde la fase de inicio, está determinado por la experiencia e idoneidad de las personas o equipos de trabajo que realicen la validación de la información para realizar la integración de los requerimientos y posteriormente determinar el cronograma y el presupuesto del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada 2.1.1 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.
- **Tasa de complejidad 3:** Representa el factor que incide sobre el análisis y transformación de los requerimientos en paquetes de trabajo y de planeación. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 2.2.2 y está determinada por una función polinomial continua que es dependiente del número de integración de requerimientos en la respectiva unidad de simulación.
- **Tasa de complejidad 4:** Representa el factor que incide sobre el análisis y transformación de los paquetes de trabajo y de planeación en la determinación del cronograma y presupuesto del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 2.3.2 y está determinada por una función polinomial continua que es dependiente del número de paquetes de trabajo y de planeación en la respectiva unidad de simulación.
- **Tasa de complejidad 5:** Representa el factor que incide sobre el análisis y transformación de las actividades, cronograma y presupuesto en la PMB del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 2.3.2 y está determinada por una función polinomial continua que es dependiente del número de paquetes de trabajo y de planeación en la respectiva unidad de simulación.
- **FAO:** Son todos aquellos procesos, métodos y formas que la organización tiene adoptadas para el desarrollo de sus actividades, en ellas influyen también las herramientas, las aplicaciones, los estándares y los sistemas de gestión integrados. Representa un factor de reducción de tiempos al momento en que usan de manera integrada todos los elementos aunados a la experiencia del talento humano. Para la planeación tiene un factor preponderante que interviene de manera directa en la

reducción o ampliación de los tiempos y recursos para dar cumplimiento a los procesos a realizar. El factor de talento humano influye de manera directa en la comprensión y agilidad en la utilización tanto de herramientas, técnicas y aplicaciones como del equipo de trabajo. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 2.7.7 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.

- **Factor PI stakeholders:** Representa el factor de incidencia que tienen en la planeación, producto del proceso iterativo para la estructuración del proyecto, los canales de comunicación juegan un papel de relevancia para la aclaración de toda duda o recomendación de ambas partes para el proyecto. es un factor que incide en la velocidad de desarrollo de los paquetes de trabajo y de planeación. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 2.6.6 y está determinada por una función polinomial continua que es dependiente del número de stakeholders del proyecto en la respectiva unidad de simulación.

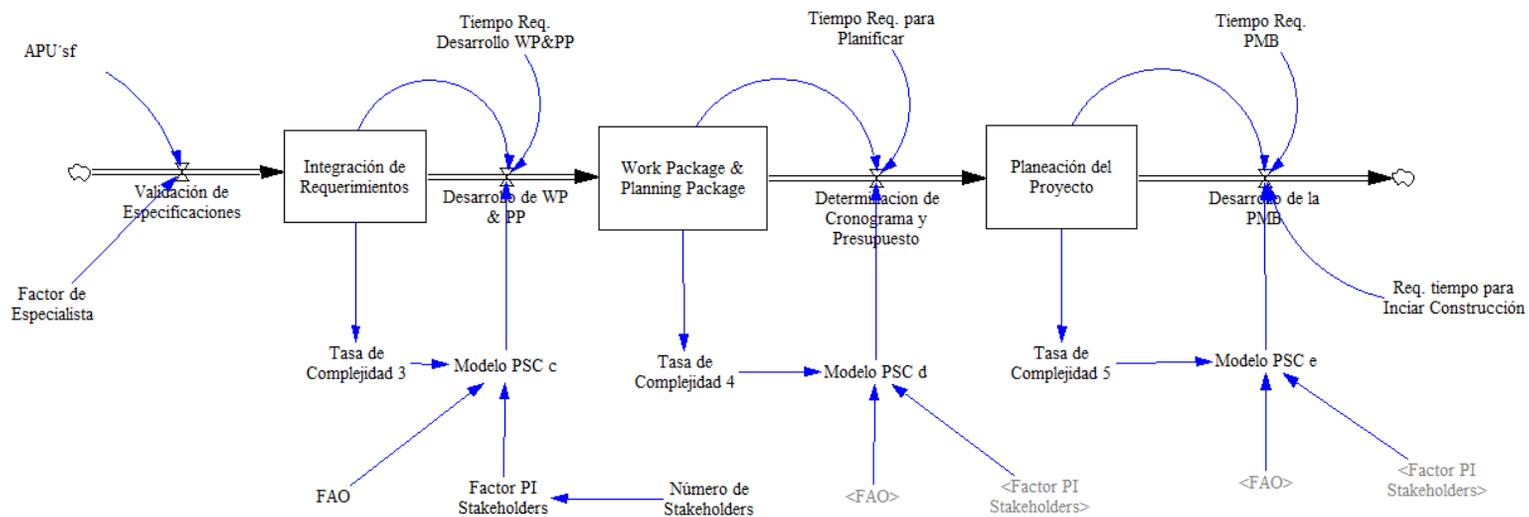


Figura 2 Modelo fase de planeación

Tabla 2 Listado de variables fase Planeación

| # Variable | Variable | Pregunta | Cod. Pregunta | Modelo | R. Mínimo | R. Máximo |
|------------|---|----------|---------------|-----------------------|-----------|-----------|
| 1 | Factor Especialista | 1 | 2.1.1 | n/a | 0.2 | 1 |
| 2 | Tasa de Complejidad 3 (Integ. Requerimientos) | 2 | 2.2.2 | PSC c | 1 | 5 |
| 3 | Tasa de Complejidad 4 (WP & PP) | 3 | 2.3.3 | PSC d | 1 | 5 |
| 4 | Tasa de Complejidad 5 (Actividades de la PMB) | 4 | 2.4.4 | PSC e | 1 | 5 |
| 5 | Requerimiento de Tiempo para la Construcción | 5 | 2.5.5 | n/a | 0.2 | 1 |
| 6 | Factor PI <i>Stakeholders</i> | 6 | 2.6.6 | PSC c - PSC d - PSC e | 1 | 5 |
| 7 | FAO | 7 | 2.7.7 | PSC c - PSC d - PSC e | 0.2 | 1 |
| 8 | APU'sf | N/A | N/A | n/a | 0 | 100 |
| 9 | Número de <i>Stakeholders</i> | N/A | N/A | n/a | 0 | 20 |
| 10 | Requerimiento Tiempo WP a PP | N/A | N/A | n/a | 0.5 | 1.5 |
| 11 | Requerimiento Tiempo Planificar | N/A | N/A | n/a | 0.5 | 1.5 |
| 12 | Requerimiento Tiempo PMB | N/A | N/A | n/a | 0.5 | 1.5 |

- **Numero de stakeholders:** Son todas aquellas personas que tienen influencia sobre el proyecto e inciden sobre los requerimientos, de esta manera son valorados de acuerdo con su poder e interés frente al mismo. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 1 a 20.
- **Requerimiento de tiempo IR (Integración de Requerimientos) a WP&PP (Work Package & Planning Package):** Referencia el factor de tiempo necesario para visualizar los requerimientos y los APU's en estructuras (trabajo y planeación) que contemplen el trabajo del proyecto. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.5 a 1.5.
- **Requerimiento de tiempo WP&PP (Work Package & Planning Package) a Planeación del proyecto:** Referencia el factor de tiempo necesario para llevar los paquetes de trabajo y de planeación a una estructura en un software de gestión de proyectos que bajo la denominación de actividades y asignación de recursos en los momentos válidos de la línea de tiempo determinada en el cronograma y el presupuesto del proyecto. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.5 a 1.5.
- **Requerimiento de tiempo Planeación del Proyecto a PMB (Performance Measurement Baseline):** Referencia el factor de tiempo necesario para determinar en conjunto con el cliente la PMB del proyecto, la cual deberá ser intervenida bajo procesos de gestión de cambios específicamente por la posible variación de las cantidades de obra. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.5 a 1.5.
- **Requerimientos de tiempo para la Construcción:** Representa la importancia que tienen los compromisos con el cliente frente a la gestión de construcción del contrato; pensando en los objetivos de las empresas y la intervención de otros subcontratistas. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 2.5.5 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.
- **Modelo PSC c:** Se refiere a la articulación adecuada de herramientas, técnicas y aplicaciones que de manera eficiente se aplican para el desarrollo rápido del proyecto, la comunicación y la presentación de la información entre el desarrollador del proyecto y el cliente, para esta etapa del proyecto se integran

herramientas de planificación, integración de la información y presentación de esta.

- **Modelo PSC d:** Se refiere a todas las herramientas, técnicas y aplicaciones necesarias para el desarrollo de la estructura de planificación en términos de cronograma y presupuesto. Se integran de manera automática en el proyecto por medio del empleo de aplicaciones de trabajo colaborativo como la estructura PPM (Project Portfolio Management) de Microsoft, en la cual su utilización y articulación entre programas de análisis de información y herramientas de analítica de datos, agilizan la forma de estructuración, cuantificación y divulgación de la información entre el ejecutor del proyecto y el cliente.
- **Modelo PSC e:** Son todas aquellas herramientas, técnicas y aplicaciones que de manera integrada se emplean para la estructuración de la PMB necesarios para el desarrollo del proyecto. En él se integran herramientas para: la inteligencia de negocios, generación de estructuras de planificación y análisis óptimo de datos, que permitan una gestión efectiva de la PMB del proyecto.

1.2.2. Variables de Nivel

- **Integración de los requerimientos:** Representa la cantidad de requerimientos que se deben integrar en conjunto con los APU's para determinar el desarrollo de los paquetes de trabajo y de planeación, más adelante se procede a la identificación y planificación secuenciada de actividades, a la previsión de actividades y procesos futuros no planificados.
- **Work Package y Planning Package:** Representan la cantidad de paquetes de trabajo y paquetes de planeación en el proyecto en el instante de la unidad de simulación, son las estructuras de planeación necesarias para el desarrollo parcial o total del proyecto, especifican las actividades a ejecutar, los recursos a utilizar y los equipos de trabajo a emplear. Se desarrollan bajo una estructura de cascada con el fin de programar las actividades bajo una lógica de trabajo proyectado. La estructura RWP. Es ampliamente utilizada para el desarrollo progresivo e iterativo de ciclos entre la planeación y la ejecución del proyecto.
- **Planeación del Proyecto:** Representa la parte final de la fase de planificación, en esta se integran los paquetes de trabajo y de planeación, adicional al cronograma y presupuesto del proyecto modelando la estructura de costos versus las

proyecciones de facturación necesarios para la estructuración de la PMB y los beneficios del proyecto. Es un proceso que se realiza en conjunto con el cliente.

1.2.3. Variables de Flujo

- **Validación de Especificaciones:** Representa la variación del ingreso de APU's en la variable de nivel denominada: Integración de Requerimientos.
- **Desarrollo de WP & PP:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Integración de Requerimientos y *Work Package & Planning Package*).
- **Determinación de Cronograma y Presupuesto:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (*Work Package & Planning Package* y Planeación del Proyecto).
- **Desarrollo de la PMB:** Representa la variación de salida de las actividades ya planificadas en la variable de nivel denominada: Planeación del Proyecto, estos determinan la PMB del proyecto

1.3. Fase: Ejecución

Esta fase tiene como propósito simular la gestión de los procesos que la organización realiza en la fase de ejecución de un proyecto EPC, para ello se tiene en cuenta la dinámica de la interventoría y sus respectivas valoraciones de análisis de la obra, es decir, el estado de la obra se puede determinar bajo promedios de aceptación, no aceptación aceptada con advertencias y finalizada por mantenimiento (Amelia, Jung, & Iurchenko, July 20-24, 2014). Adicionalmente se debe tener en cuenta la validación de la información proveniente del área de ingeniería y desarrollo por parte de la interventoría en pro de la ejecución del proyecto y puesta en marcha de este. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El modelo considera 27 variables que están relacionadas a los ejes fundamentales que se mencionan en el párrafo anterior. Ver Tabla 3 Listado de variables fase Ejecución

1.3.1. Variables Auxiliares

- **Promedio de entrega ingeniería:** Corresponde al rendimiento que requiere el equipo técnico del proyecto para entregar ingeniería de detalle a construcción, de esta manera refleja un factor de tiempo que influye para la ejecución y definición

de los elementos necesarios en obra y planificación del área encargada de la procura para el proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.1.1 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.

- **Efectividad de proveedores:** Representa el factor que incide sobre la ejecución de las actividades programadas una buena elección de proveedores, de esta manera puede acelerar o ralentizar la ejecución de la ingeniería en construcción. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.2.2 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.
- **Capacidad del contratista:** Representa el factor de eficiencia que incide sobre la ejecución de las actividades de ingeniería de acuerdo con la experiencia del contratista y que está supeditado por la capacidad técnica y operativa del mismo para la ejecución de las actividades o paquetes de trabajo asignados desde la PMB. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.3.2 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.

Tabla 3 Listado de variables fase Ejecución

| # Variable | Variable | Pregunta | Cod. Pregunta | Modelo | R. Mínimo | R. Máximo |
|------------|---|----------|---------------|--------|-----------|-----------|
| 1 | Promedio de Entrega Ingeniería | 1 | 3.1.1 | n/a | 0.2 | 1 |
| 2 | Efectividad de Proveedores | 2 | 3.2.2 | PSC f | 0.2 | 1 |
| 3 | Capacidad Contratista | 2 | 3.3.2 | PSC f | 0.2 | 1 |
| 4 | Liberaciones en Campo | 2 | 3.4.2 | PSC f | 0.2 | 1 |
| 5 | Promedio de Aceptación | 3 | 3.5.3 | n/a | 0.1 | 0.9 |
| 6 | Promedio de no Aceptación | 3 | 3.6.3 | n/a | 0.1 | 0.9 |
| 7 | Promedio de Aceptación con Advertencias | 3 | 3.7.3 | n/a | 0.1 | 0.9 |
| 8 | Fracción Por Demandar | 4 | 3.8.4 | n/a | 0 | 0.1 |
| 9 | Fracción Retrabajos | 4 | 3.9.4 | n/a | 0.1 | 0.4 |
| 10 | FAO | 5 | 3.10.5 | PSC f | 0.2 | 1 |

- Liberaciones en campo:** Representa la importancia de una efectiva liberación de sitios en campo en pro del rendimiento de las actividades en ejecución y el avance de la construcción del proyecto. Influye en tiempo promedio que necesitan planificarse y programarse las actividades en obra. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.4.2 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.
- Modelo PSC f:** Se refiere a todas las herramientas, técnicas y aplicaciones que se requieren para el seguimiento de la PMB en obra, por medio de las actualizaciones de estado de avance, los ingresos integrados de información, los recursos utilizados y la planificación de etapas siguientes dentro de la estructura RWP de los paquetes de planeación próximos a ejecución. En esta parte del modelo se encuentra la aplicación de los indicadores de la metodología EVM, gestión de datos en la nube y modelos de negocio inteligentes a partir de plataformas colaborativas.
- Promedio de Aceptación:** Representa un factor que relaciona el porcentaje de obra que es aprobada en primera instancia por la interventoría del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.5.3 y presenta un rango numérico de 0.1 a 0.9.
- Promedio de no Aceptación:** Representa un factor que relaciona el porcentaje de obra que no es aprobada en primera instancia por la interventoría del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.6.3 y presenta un rango numérico de 0.1 a 0.9.

- **Promedio de Aceptación con Advertencias:** Representa un factor que relaciona el porcentaje de obra que es aprobada con advertencia por la interventoría del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.7.3 y presenta un rango numérico de 0.1 a 0.9.
- **Fracción de Retrabajos:** Representa un factor que corresponde a los trabajos que se realizan y por temas de interventoría vuelven a hacer parte de la ejecución de las actividades en obra. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.9.4 y presenta un rango numérico de 0.1 a 0.4.
- **Fracción por demandar:** Representa un factor que corresponde a la obra que entra en un proceso jurídico y está determinado por la obra ejecutadas y validadas en el proceso de interventoría. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.8.4 y presenta un rango numérico de 0 a 0.1.
- **FAO:** Son todos aquellos procesos, métodos y formas que la organización tiene adoptadas para el desarrollo de sus actividades, en ellas influyen también las herramientas, las aplicaciones, los estándares y los sistemas de gestión integrados. Representa un factor de reducción de tiempos al momento en que usan de manera integrada todos los elementos aunados a la experiencia del talento humano. Para la ejecución tiene un factor preponderante porque determina la experiencia de la compañía y su efectividad desde el equipo de trabajo, la gestión de la procura, la aplicabilidad de los procesos del sistema de gestión y el manejo de los interesados en esta fase del proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 3.10.5 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.

1.3.2. Variables de Nivel

- **Ingeniería de detalle:** Se refiere a la documentación recibida desde la fase de planeación complementada a su vez de la información que fue entregada por el cliente en la etapa de inicio. Documentación que refiere en detalle los elementos componentes, especificaciones y equipos necesarios en el proyecto, lineamientos para la instalación, ejecución y detalles de manufactura para el proceso constructivo.
- **Ingeniería en construcción:** Se refiere a las actividades que posterior a la liberación de los procesos anteriores de desarrollo de ingeniería de detalle comienzan su ejecución en obra. En este proceso confluyen actividades nuevas

ejecutadas y con un retardo de tiempo las actividades finalizadas y validadas requieren una modificación, adecuación o reproceso para su aprobación.

- **Construcción para validación:** Son aquellas actividades que fueron culminadas dentro de la ejecución del proyecto, que de manera integrada entre la gerencia del proyecto y la interventoría comienzan el proceso de validación para su aprobación o modificación. De este proceso se tiene como entregable de la revisión la aprobación o el pliego de observaciones.
- **Construcción con problemas:** Posterior a la validación por parte de la gerencia y la interventoría en el proceso de validación de las actividades ejecutadas, presentan problemas concertadas entre las partes. De manera que se tienen como opciones la aceptación de las actividades con las implicaciones de no tenerlas bajo los lineamientos iniciales, o la generación de reprocesos en los que se generan nuevas actividades.
- **Construcción en uso con problemas:** Actividades que son validadas y aceptadas de manera de parcial, entran en un proceso de mantenimiento para la entrega definitiva y puesta en marcha.
- **Construcción completa en uso:** Son todas aquellas actividades finalizadas y entregadas a satisfacción.
- **Construcción en litigio:** son las actividades que de manera estática no pueden ser entregadas ni procesadas para la culminación del proyecto esto genera un retraso grande para la finalización del proyecto.

1.3.3. Variables de Flujo

- **Ingeniería para construcción:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Ingeniería de Detalle e Ingeniería en construcción).
- **Procesos validados por interventoría:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Ingeniería en construcción y Construcción para validación).
- **Construcción a revisión:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Construcción para validación y Construcción con problemas).

- **Construcción en validación:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Construcción para validación y Construcción completa en uso).
- **Construcción aceptada con advertencias:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Construcción con problemas y Construcción en uso con problemas).
- **Construcción Finalizada por mantenimiento:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Construcción en uso con problemas y Construcción completa en uso).
- **Construcción con demandas:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Construcción con problemas y Construcción en litigio).
- **Reconstrucción de Obra:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (Construcción con problemas y e Ingeniería en construcción).

1.4. Fase: Seguimiento y Control

Esta fase tiene como propósito simular la gestión de los procesos que la organización realiza en la fase de seguimiento y control de un proyecto EPC, teniendo en cuenta procesos efectivos, la PMB del proyecto, los paquetes de trabajo (conjunto de actividades programadas y cuantificadas), los paquetes de planeación (actividades previstas sin programar ni cuantificar) y metodologías internacionales en pro de generar índices relacionados con el alcance y los costos del proyecto. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El modelo considera 22 variables que están relacionadas a los ejes fundamentales que se mencionan en el párrafo anterior. Ver Tabla 4 Listado de variables fase Seguimiento y Control.

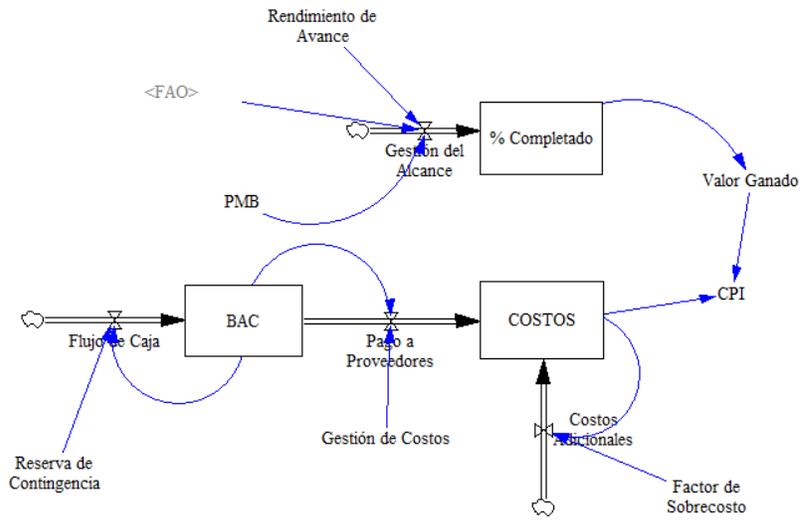


Figura 4 Modelo fase Seguimiento y Control – CPI

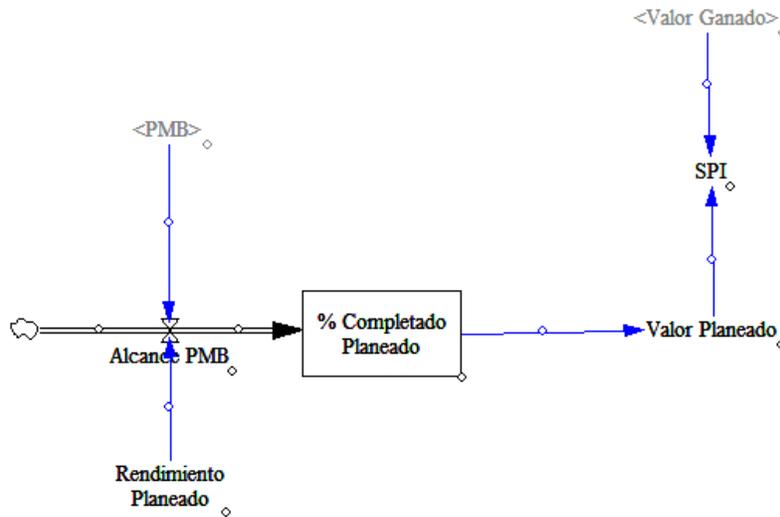


Figura 5 Modelo fase Seguimiento y Control – SPI

Tabla 4 Listado de variables fase Seguimiento y Control

| Variable | Pregunta | Cod. Pregunta | Modelo | R. Mínimo | R. Máximo |
|-------------------------|----------|---------------|--------|-----------|-----------|
| Reserva de Contingencia | 1 | 4.11.1 | n/a | 0 | 0.04 |
| Gestión de Costos | 2 | 4.12.2 | n/a | 0.08 | 0.3 |
| Factor de Sobrecosto | 3 | 4.13.3 | n/a | 0.001 | 0.008 |
| PMB | 4 | 4.14.4 | n/a | 0.1 | 1 |
| FAO | 5 | 4.15.5 | n/a | 0.2 | 1 |
| Valor Ganado | N/A | N/A | n/a | 0 | Max |
| CPI | N/A | N/A | n/a | 0 | 5 |
| Rendimiento de Avance | N/A | N/A | n/a | 0.02 | 0.05 |
| Rendimiento Planeado | N/A | N/A | n/a | 0.02 | 0.05 |
| Valor Planeado | N/A | N/A | n/a | 0 | Max |
| SPI | N/A | N/A | n/a | 0 | 5 |

1.4.1. Variables Auxiliares modelo CPI

- Valor Ganado:** Representa el valor en costo planeado para el momento de alcance de la obra, este valor debe parametrizarse de acuerdo con el presupuesto del proyecto (línea base de costo) y para ello se debe parametrizar como una variable auxiliar tipo “with lookup”. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

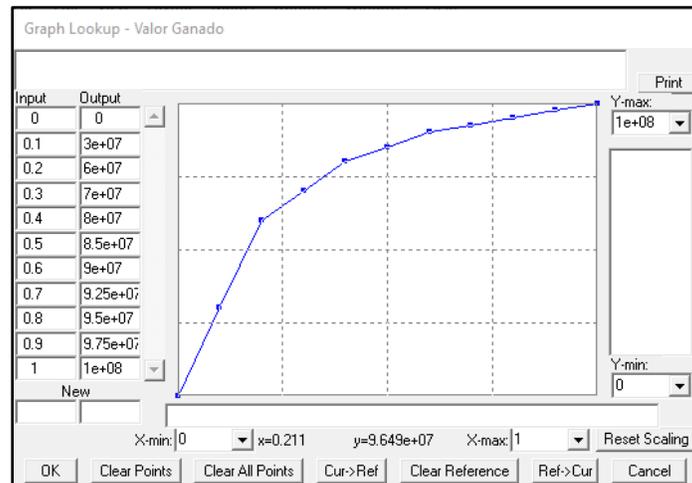


Figura 6 Detalle parámetros variable Valor Ganado

- Factor del sobrecosto:** Referencia un porcentaje de costos adicionales respecto al presupuesto ejecutado en un cada periodo de simulación, este factor incide de manera directa los costos y su impacto sobre el presupuesto. Esta variable se

soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 4.13.3 y presenta un rango numérico de 0.001 a 0.008.

- **CPI:** El *Cost Performance Index* es el indicador de rendimiento del costo, referencia el estado de los costos en una fecha de estado determinada, bajo el alcance desarrollado.
- **PMB (*Performance Measurement Baseline*):** Referencia un factor relacionado con el nivel técnico apropiado en el desarrollo de la PMB, y su influencia en la efectiva consecución de la obra para el proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 4.14.4 y presenta un rango numérico de 0.1 a 1.
- **FAO:** Variable sombra a la pertinente a la fase de ejecución. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 4.15.5 y presenta un rango numérico de 0.2 a 1.
- **Rendimiento de Avance:** Referencia un factor de acuerdo con la efectividad en la ejecución de la obra bajo el modelo determinado en el cronograma base del proyecto. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.02 a 0.05.
- **Gestión de Costos:** Representa una tasa de consumo efectiva del presupuesto respecto la línea base de costo, además es variable y su configuración es propia para cada proyecto a modelar. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 4.12.2 y presenta un rango numérico de 0.08 a 0.3.
- **Reserva de Contingencia:** Representa un porcentaje relacionado con la reserva de contingencia respecto al BAC del proyecto en cada periodo de simulación del modelo. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 4.11.1 y presenta un rango numérico de 0 a 0.04.

1.4.2. Variables de Nivel modelo CPI

- **BAC (*Budget at Completion*):** Representa el presupuesto acumulado para la ejecución de la obra, es decir, la proyección planificada de los costos asociados a la ejecución del proyecto que se cumplen de acuerdo con la ejecución de las actividades programadas en la PMB, son medidos a partir de la línea base y valorados por el método EVM.

- **Porcentaje Completado:** Es la acumulación porcentual relacionada con la obra lograda, este porcentaje representa de manera directa el avance de la obra y determina el valor ganado del proyecto.
- **Costos:** Representa el acumulado de costos reales en el proyecto, adicionalmente involucra los costos adicionales bajo el modelo del factor de sobrecosto, representando el trabajo en la gestión de estos.

1.4.3. Variables de Flujo modelo CPI

- **Flujo de Caja:** Representa la variación del ingreso de la Reserva de contingencia en la variable de nivel denominada: BAC (*Budget at Completion*).
- **Pago a Proveedores:** Representa la variación por unidad de simulación, específicamente el flujo de información entre las 2 variables de nivel (BAC y costos).
- **Costos Adicionales:** Representa la variación del ingreso de costos adicionales bajo un factor de sobrecosto en la variable de nivel denominada: costos.
- **Gestión del Alcance:** Representa la variación del aumento en el porcentaje completado del proyecto en la variable de nivel denominada: % completado.

1.4.4. Variables Auxiliares modelo SPI

- **PMB:** Referencia un factor relacionado con el nivel técnico apropiado en el desarrollo de la PMB, y su influencia en la efectiva consecución de la obra para el proyecto. Esta variable se soporta desde la analítica de la encuesta aplicada en la pregunta 4.14.4 y presenta un rango numérico de 0.1 a 1.
- **Rendimiento Planeado:** Referencia el progreso planeado de 0 a 100% durante la temporalidad del proyecto, es variable de acuerdo con el proyecto de análisis. Esta variable está relacionada con el análisis de estabilidad y puntos críticos del sistema. Presenta un rango numérico de 0.02 a 0.05
- **Valor Planeado:** Representa el valor en costo planeado para el momento de *tiempo* de la obra, este valor debe parametrizarse de acuerdo con el presupuesto del proyecto (línea base de costo) y para ello se debe parametrizar como una variable auxiliar tipo “with lookup”.

- **Valor ganado:** Representa el valor en costo ganado para el momento de *alcance* de la obra, este valor debe parametrizarse de acuerdo con el presupuesto del proyecto (línea base de costo) y para ello se debe parametrizar como una variable auxiliar tipo “with lookup”.
- **SPI:** El *Schedule Performance Index* representa el indicador de rendimiento del cronograma, el indicador determina el estado de avance del proyecto y para ello tiene en cuenta los costos planeados para el avance y el tiempo respectivamente.

1.4.5. Variables de Nivel modelo SPI

- **Porcentaje completado planeado:** Representa el progreso porcentual planeado para el proyecto, producto del análisis de la PMB en la línea base de alcance.

1.4.6. Variables de Flujo modelo SPI

- **Alcance PMB:** Representa la variación del aumento del porcentaje completado según la PMB en la variable de nivel denominada: % completado planeado.

2. Pruebas y Estabilidad del Sistema

Durante esta fase se realizara la integración de los datos de las entrevistas y encuestas con las variables del modelo, el propósito de ello es cargar la información de manera activa buscando estabilidad en cada uno de los sistemas relacionados, esto se logra a partir de la especificación de la estructura, estimación de parámetros, relaciones y condiciones iniciales de las variables respectivas para realizar las primeras pruebas de consistencia de estos con el propósito de modelar el problema bajo los parámetros de la hipótesis dinámica.

La gestión de las variables y la analítica propia de cada una de ellas, hacen de cada estructura un escenario propio que está determinado de acuerdo con su funcionalidad, en ese sentido, se necesita desarrollar estructuras matemáticas consistentes para variables auxiliares de valor único y variables auxiliares con valores funcionales que son mayoría en los resultados y necesidades en la dualidad encuesta – modelo.

2.1. Analítica de datos para el modelo

El proceso necesario para la integración requiere tener en cuenta pesos matemáticos, rangos de validez, operatividad base y líneas de tendencia bajo factores de funciones polinómicas. De esta manera se determinan los procesos de integración para los diferentes tipos de variables y datos.

- Analítica para datos en variables constante:** Este tipo de variables deben estar determinadas a partir de dos pesos, estos representan el punto intermedio en el intervalo y el otro está relacionado en términos porcentuales. A partir de las cantidades agrupadas de las respuestas se determinan factores multiplicados asociados con los campos de peso (peso 1 – peso 2, ver Tabla 5 Tabla base de cálculo variables constantes) para determinar finalmente los valores que estarían cargados la variable del modelo.

Tabla 5 Tabla base de cálculo variables constantes

| Peso 1 | Peso 2 | Rangos | #licitaciones | F. Presentación | F. Efectividad | V. base 1 | V base 2 | V. base 3 |
|---------|--------|---------------|---------------|-----------------|----------------|-----------|----------|-----------|
| 10 | 0.1 | Menos de 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 0.35 | entre 20 y 50 | 1 | 0 | 1 | 35 | 0 | 0.35 |
| 60 | 0.6 | entre 50 y 70 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.6 | 0 |
| 85 | 0.85 | mÑajs de 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 1 | 1 | 1 | 35 | 0.6 | 0.35 |
| Valores | | | | | | 35 | 0.60 | 0.40 |

Esta estructura es utilizada en los diferentes modelos: 5 en el modelo de inicio, 3 en el modelo de planeación y 15 en el modelo de ejecución, seguimiento y control.

- Analítica para datos en variables funcionales:** Para este tipo de variables se debe en primera instancia determinar un rango base (ver Tabla 6 Rangos de Criticidad por número de APU´s – tabla a), luego se agrupan los resultados de las encuestas a nivel estadístico bajo el criterio de los intervalos determinados (ver Tabla 6 Rangos de Criticidad por número de APU´s – tabla 2).

Tabla 6 Rangos de Criticidad por número de APU´s

| # APU's | Criticidad |
|---------|------------|
| 0 | 3 |
| 200 | 3 |
| 400 | 4 |
| 600 | 5 |
| 800 | 5 |
| 1000 | 5 |
| 1200 | 5 |
| 1400 | 5 |
| 1600 | 5 |
| 1800 | 5 |
| 2000 | 5 |

| Rangos | Promedio |
|-------------|----------|
| <100 | 3 |
| 100 a 300 | 3 |
| 300 a 500 | 4 |
| 500 a 1000 | 5 |
| 1000 a 2000 | 5 |
| >2000 | 5 |

Finalmente se realiza un diagrama de dispersión bajo los resultados de la tabla agrupada (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para generar una línea de tendencia que determine una función asociada a la dispersión.

Ecuación 1 Función de Tendencia Tasa de Complejidad 2

$$y = -1e - 06x^2 + 0.0033x + 2.8741$$

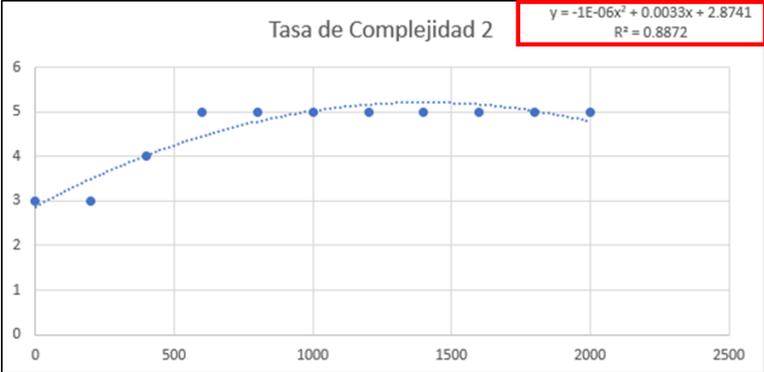


Figura 7 Diagrama de dispersión y Trendline

La función generada en el diagrama de dispersión se integra en la variable del modelo bajo la estructura y las variables asociadas (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

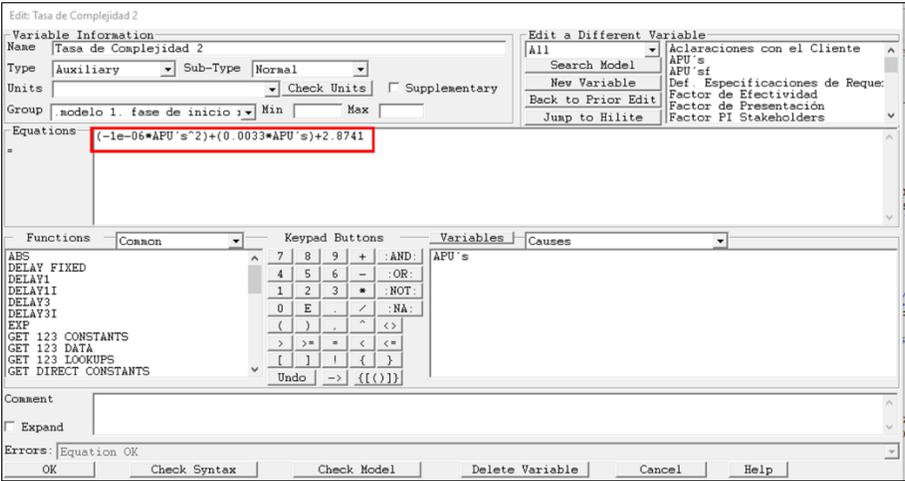


Figura 8 Detalle Ventana de parametrización de variables Vensim

Esta estructura es utilizada en 2 modelos: 3 en el modelo de inicio y 4 en el modelo de planeación.

A continuación, se presenta el proceso de pruebas de consistencia y estabilidad bajo los parámetros de la hipótesis dinámica para las fases de Inicio, Planeación, Ejecución, Seguimiento y Control.

2.2. Pruebas y Estabilización

Para realizar este proceso de análisis de estabilidad y consistencia del modelo es necesario utilizar los resultados de las entrevistas y encuestas bajo una estructura de analítica de datos. El propósito es determinar cómo los resultados cuantitativos y cualitativos propios de estos documentos se pueden llevar a datos matemáticos que puedan integrarse a la estructura del modelo en Vensim (software de simulación).

2.2.1. Fase: Inicio

Para realizar este proceso debemos actualizar los valores en las variables auxiliares (constantes y funcionales) generados desde la analítica de datos (ver anexo C), luego se determinan los valores de inicio de las variables de nivel y se modelan las ecuaciones para las variables auxiliares de integración, que en esta fase se denominan: Modelo PSCa y Modelo PSCb.

De acuerdo con los resultados de las encuestas (ver anexo F) y bajo la estructura de la analítica pertinente se obtienen los datos para las variables del modelo. Las variables con dato constante definido desde la analítica son: número de licitaciones, factor de presentación, factor de efectividad, tasa de retardo y FAO. Ver Tabla 7 Datos de variables constantes fase Inicio.

Tabla 7 Datos de variables constantes fase Inicio

| # licitaciones | Fac. Pres. | Fac. Efec. |
|----------------|------------|------------|
| 35.0 | 0.4 | 0.2 |

| T. Retardo |
|------------|
| 1.0 |

| FAO |
|-----|
| 0.6 |

Los valores de los datos de inicio en las variables de nivel: requerimientos, APU's e intervenciones con el cliente y los datos base para las variables de estabilidad se muestran en la Tabla 8 Valores de nivel y estabilidad fase Inicio.

Tabla 8 Valores de nivel y estabilidad fase Inicio

| Variables Auxiliares de Estabilidad | Valor |
|-------------------------------------|-------|
| Req. RC - APU's | 1 |
| Req. APU's - IC | 1 |
| Req. IC - APU'sf | 1 |
| # de stakeholders | 10 |

| Variables de Nivel | Vo |
|--------------------|-----|
| Requerimientos | 100 |
| APU | 25 |
| Inter. del Cliente | 10 |

Respecto a las bases de operación para las variables de Nivel para esta fase tenemos:

Ecuación 2 Ecuaciones variables de nivel fase Inicio

Req. Recibidos = Solicitudes de Clientes – Def. Especificaciones de Req.

APU's = Def. Especificaciones de Req. – Aclaraciones con el cliente

Interv. con el cliente = Aclaraciones con el cliente – APU'sf.

Las funciones relacionadas a las variables funcionales: tasa de complejidad 1, tasa de complejidad 2 y factor PI (poder – interés) se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

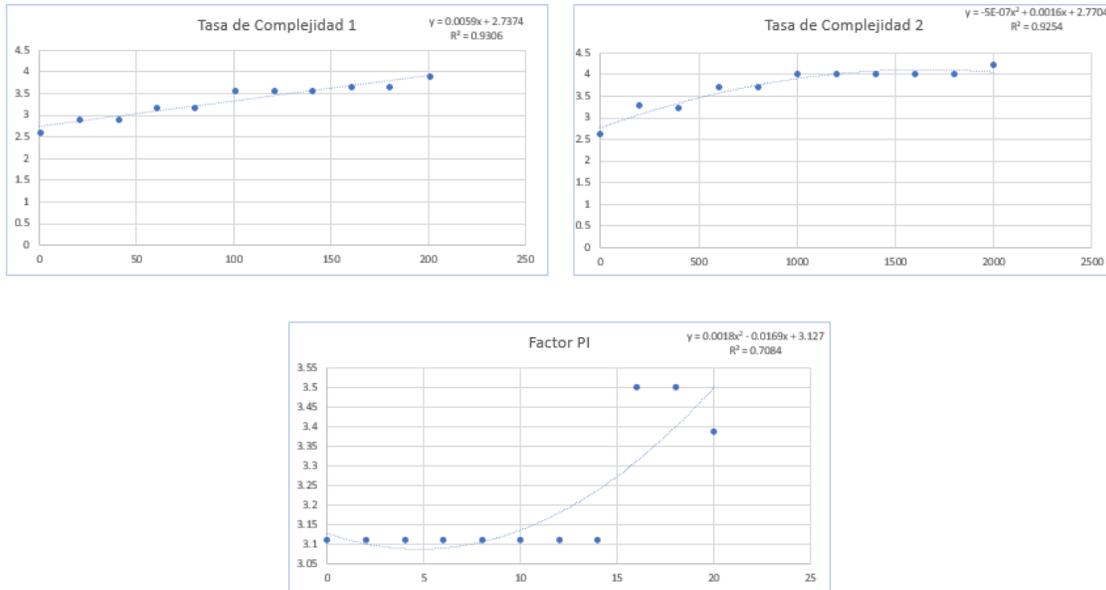


Figura 9 Diagramas de dispersión y *trendline* variables fase Inicio

Las variables auxiliares de integración: modelo PSC a/b están determinados para la funcionalidad base con ecuaciones básicas en términos de producto y cociente respectivamente. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

| Variable Information | |
|----------------------|---|
| Name | Modelo PSC a |
| Type | Auxiliary |
| Sub-Type | Normal |
| Units | |
| Check Units | <input type="checkbox"/> |
| Supplementary | <input type="checkbox"/> |
| Group | .modelo 1. fase de inicio |
| Min | |
| Max | |
| Equations | FAO*Factor PI Stakeholders*Tasa de Complejidad 1] |

| Variable Information | |
|----------------------|---|
| Name | Modelo PSC b |
| Type | Auxiliary |
| Sub-Type | Normal |
| Units | |
| Check Units | <input type="checkbox"/> |
| Supplementary | <input type="checkbox"/> |
| Group | .modelo 1. fase de inicio |
| Min | |
| Max | |
| Equations | FAO/(Factor PI Stakeholders*Tasa de Complejidad 2)] |

Figura 10 Detalle de configuración de ecuaciones fase Inicio

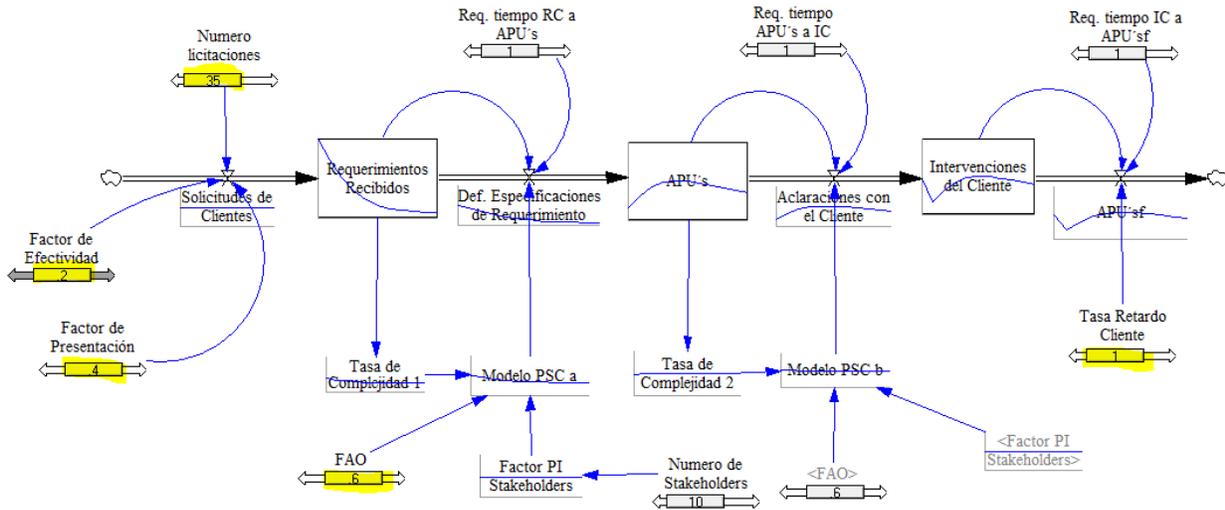


Figura 11 Modelo base fase Inicio

El modelo de la fase de inicio simulado en tiempo real con variables base (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) determina en la simulación tiempos respecto a las variables de nivel demasiado altos, esto representa que una gestión en esta fase, que debe estar cercana a las 4 semanas de duración, la simulación muestra que se necesitan más de 10 semanas para este mismo trabajo. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

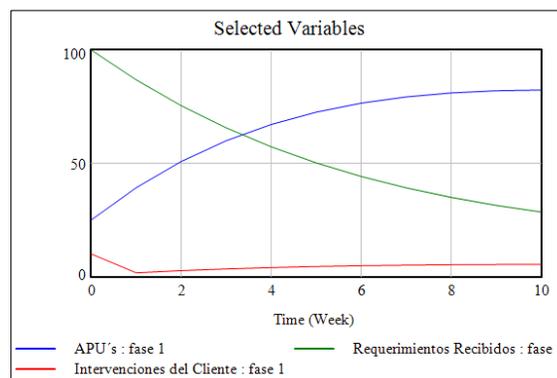


Figura 12 Graficas de simulación base fase Inicio

Bajo el resultado anterior, es necesario realizar ajustes en las variables de estabilidad y generar tiempos de simulacion mas consistentes (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la**

referencia.) que permitan visualizar procesos con tiempos mas estables para la transicion de la información en la fase.

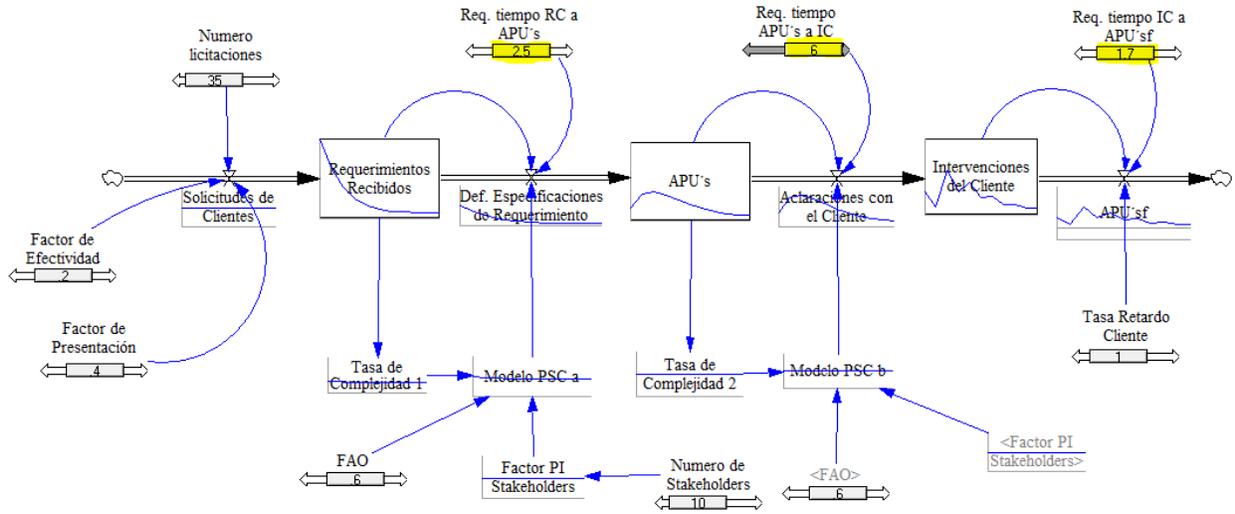


Figura 13 Modelo ajustado fase Inicio

Los tiempos estables de simulación determinan una secuencia valida para los procesos realcionados en la fase de inicio (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), en general en 4 semanas llegamos a la condición inicial de APU's bajo la perspectiva de ingresar cada semana un numero de licitaciones tal que tenga una variación determinada en cada momento de simulacion por una disminución con factores de 0.4 y 0.6 respectivamente.

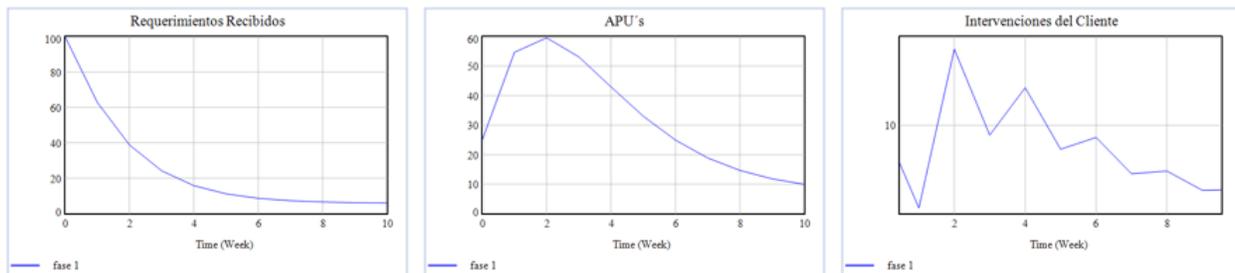


Figura 14 Graficas de simulación consistentes fase Inicio

2.2.2. Fase: Planeación

Para realizar este proceso debemos actualizar los valores en las variables auxiliares (constantes y funcionales) generados desde la analítica de datos (ver anexo C), luego se determinan los valores de inicio de las variables de nivel y se modelan las ecuaciones para las variables auxiliares de integración, que en esta fase se denominan: Modelo PSCc, Modelo PSCd y Modelo PSCe.

De acuerdo con los resultados de las encuestas (ver anexo F) y bajo la estructura de la analítica pertinente se obtienen los datos para las variables del modelo. Las variables con dato constante definido desde la analítica son: factor de especialista, requerimientos de tiempo para la construcción y FAO. Ver Tabla 9 Datos de variables constantes fase Planeación.

Tabla 9 Datos de variables constantes fase Planeación

| Factor Especialista | Req. T. Construcción | FAO |
|---------------------|----------------------|-----|
| 0.90 | 1.00 | 0.6 |

Los valores de los datos de inicio en las variables de nivel: integración de requerimientos, paquetes de trabajo / planeación y actividades de planeación, y los datos base para las variables de estabilidad se muestran en la Tabla 10 Valores de nivel y estabilidad fase Planeación .

Tabla 10 Valores de nivel y estabilidad fase Planeación

| Variabes Auxiliares de Estabilidad | Valor |
|------------------------------------|-------|
| Req. Ireq. - WP&PP | 0.1 |
| Req. WP&PP - Planif. | 0.5 |
| Req. Planif. - PMB | 1 |
| # de stakeholders | 10 |
| APU'sf | 10 |

| Variabes de Nivel | Vo |
|----------------------------|-----|
| Int. Requerimientos | 150 |
| WP&PP | 10 |
| Act. Planeación | 20 |

Respecto a las bases de operación en las variables de Nivel para esta fase tenemos:

Ecuación 3 Ecuaciones variables de nivel fase Planeación

Int. Requerimientos = Val. Especificaciones – Desarrollo WP & PP.

$$WP \& PP = \frac{\text{Desarrollo de WP \& PP}}{10} - \text{Deter. Cronograma y Presupuesto}$$

$$\text{Planeación del Proyecto} = 15 * \text{Deter. Cronograma y Presupuesto} - \text{Desarrollo PMB}$$

Las funciones relacionadas a las variables funcionales: tasa de complejidad 3, tasa de complejidad 4, tasa de complejidad 5 y factor PI (poder – interés) se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

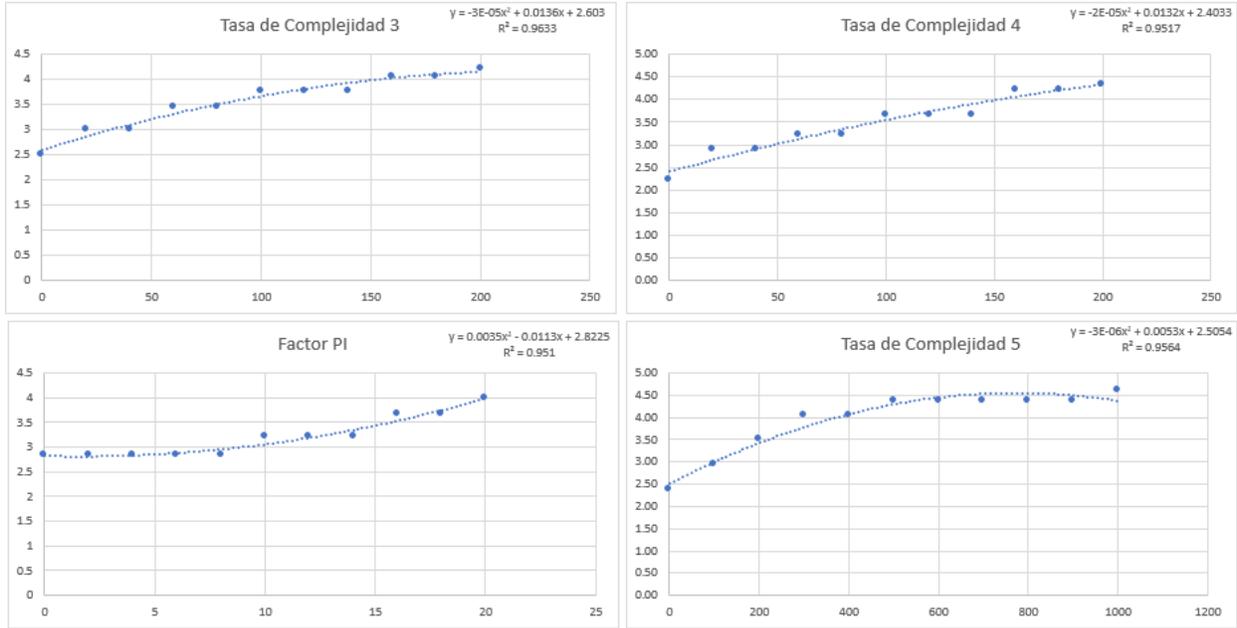


Figura 15 Diagramas de dispersión y *trendline* variables Planeación

Las variables auxiliares de integración: modelo PSC c/d/e están determinados para la funcionalidad base con ecuaciones básicas en términos de producto y cociente respectivamente. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

The figure shows three screenshots of a software configuration interface for variables. Each window is titled 'Variable Information' and contains the following fields:

- Name:** Modelo PSC c, Modelo PSC d, and Modelo PSC e.
- Type:** Auxiliary (selected).
- Sub-Type:** Normal (selected).
- Units:** (empty field).
- Check Units:** (checkbox, unchecked).
- Supplementary:** (checkbox, unchecked).
- Group:** .modelo 2. fase de planeac: (selected).
- Min:** (empty field).
- Max:** (empty field).
- Equations:**
 - Modelo PSC c: $FAO * Factor PI Stakeholders * Tasa de Complejidad 3$
 - Modelo PSC d: $FAO * Factor PI Stakeholders * Tasa de Complejidad 4$
 - Modelo PSC e: $FAO / (Factor PI Stakeholders * Tasa de Complejidad 5)$

Figura 16 Detalle de configuración de ecuaciones fase Planeación

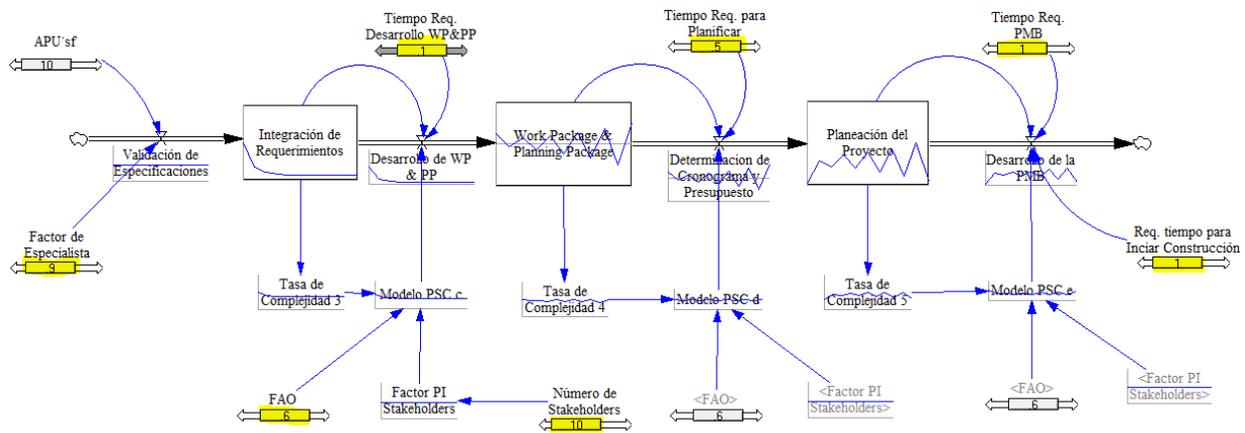


Figura 17 Modelo base fase Planeación

El modelo de la fase de planeación simulado en tiempo real con variables base (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) determina en la simulación tiempos respecto a las variables de nivel que se mantienen en cero durante caso todo el tiempo de simulación, esto representa que una gestión en esta fase, que debe estar cercana a las 4 semanas de duración, en la simulación revela un tiempo nulo para este mismo trabajo. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

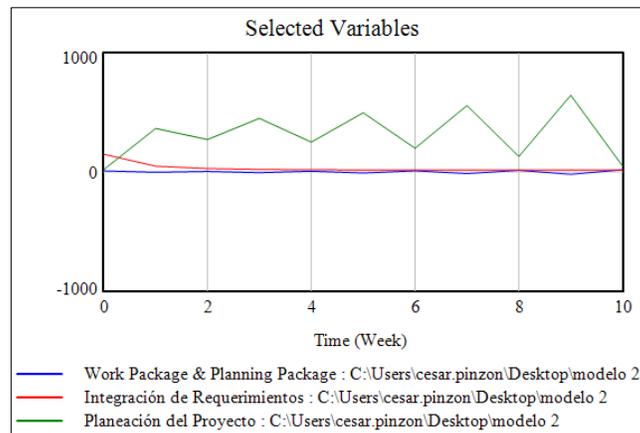


Figura 18 Graficas de simulación base fase Planeación

Bajo el resultado anterior, es necesario realizar ajustes en las variables de estabilidad y generar tiempos de simulación más consistentes (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que permitan visualizar procesos con tiempos más estables para la transición de la información en la fase.

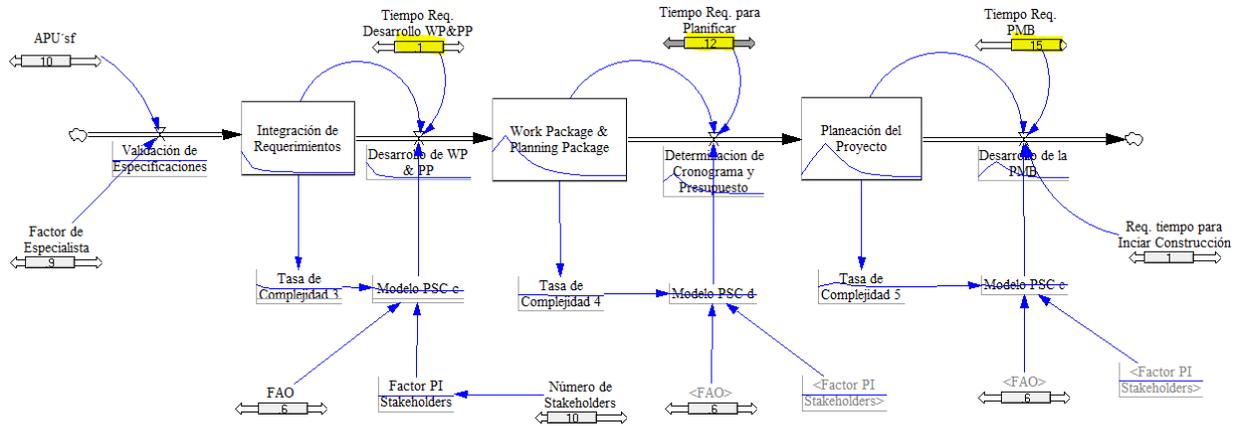


Figura 19 Modelo ajustado fase Planeación

Los tiempos estables de simulación determinan una secuencia valida para los procesos realcionados en la fase de planeación (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), en general en 4 semanas llegamos a condición iniciales en cada variable de nivel bajo la perspectiva de ingresar cada semana un numero de APU'sf con un factor de 10 semanales, esto permite tener un proceso estable donde una PMB (*Performance Measurement Baseline*) para un contrato tipo EPC puede llegar a tomar maximo 4 semanas en su desarrollo y validación constructor – cliente.



Figura 20 Graficas de simulación consistentes fase Planeación

2.2.3. Fase: Ejecución

Para realizar este proceso debemos actualizar los valores en las variables auxiliares (constantes y funcionales) generados desde la analítica de datos (ver anexo C), luego se determinan los valores de inicio de las variables de nivel y se modelan las ecuaciones para las variables auxiliares de integración, que en esta fase se denomina Modelo PSC f.

De acuerdo con los resultados de las encuestas (ver anexo F) y bajo la estructura de la analítica pertinente se obtienen los datos para las variables del modelo. Las variables con dato constante definido desde la analítica son: promedio de entrega de ingeniería, efectividad proveedores, capacidad del contratista, liberaciones en campo, promedio aceptación de obra, promedio de no

aceptación de obra, promedio de aceptación de obra con advertencias, fracción de retrabajos, fracción a demandar y FAO. Ver Tabla 11 Datos de variables constantes fase Ejecución.

Tabla 11 Datos de variables constantes fase Ejecución

| | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Prom. Entrega Ingeniería 0.1 | Aceptación Obra 0.7 | Fracción Retrabajos 0.1 |
| Efect. Proveedores 0.9 | No Aceptación de Obra 0.1 | Fracción a Demandar 0.0 |
| Capac. Contratista 0.9 | Aceptación Obra + Adv 0.2 | FAO 0.5 |
| Liberaciones en Campo 0.9 | | |

Los valores de los datos de inicio en las variables de nivel: integración de requerimientos, paquetes de trabajo / planeación y actividades de planeación, y los datos base para las variables de estabilidad se muestran en la Tabla 12 Valores de nivel fase Ejecución.

Tabla 12 Valores de nivel fase Ejecución

| Variables de Nivel | Vo |
|-----------------------------------|-----|
| Ingeniería de detalle | 300 |
| Ingeniería en construcción | 10 |
| Construcción para validación | 20 |
| Construcción completa en uso | 0 |
| Construcción con Problemas | 3 |
| Construcción en Uso con problemas | 0 |
| Construcción en Litigio | 0 |

Respecto a las bases de operación en las variables de Nivel para esta fase tenemos:

Ecuación 4 Ecuaciones variable de nivel fase Ejecución

$$\text{Ingeniería de Detalle} = -\text{Ingeniería para Construcción.}$$

$$\text{Ing. en Construcción} = \text{Ing. para Construcción} + \text{Reconst. de Obra} - \text{Proc. Val. por Interventoria}$$

$$\text{Const. para Validación} = \text{Proc. Val. por Interventoria} - \text{Const. a Revisión} - \text{Const. en Validación}$$

$$\text{Const. completa en uso} = \text{Const. en Validación} + \text{Const. Fin. por Mantenimiento}$$

$$\text{Const. con Problemas} = \text{Const. a Revisión} - \text{Const. Acep. con Advertencias} - \text{Const. con Demandas} - \text{Reconst. de Obra}$$

$$\text{Const. en uso con Problemas} = \text{Const. Acep. con Advertencias} - \text{Const. Fin. por Mantenimiento}$$

$$\text{Const. en Litigio} = \text{Const. con demandas}$$

La variable auxiliar de integración modelo PSC f está determinada para la funcionalidad base con ecuaciones básicas en términos de producto y cociente respectivamente. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

| Variable Information | | Edit a Different Variable | |
|----------------------|--|---------------------------|--------------------------------|
| Name | Modelo PSC f | All | % Completado Planeado |
| Type | Auxiliary | Search Model | % Completado |
| Sub-Type | Normal | New Variable | Alcance PMB |
| Units | | Back to Prior Edit | BAC |
| Check Units | <input type="checkbox"/> | Jump to Hilite | Capacidad Contratista |
| Supplementary | <input type="checkbox"/> | | Construcción a Revisión |
| Group | .modelo 3. fase de ejecucio | | Construcción aceptada con Adve |
| Min | | | |
| Max | | | |
| Equations | 0.4*Capacidad Contratista*Liberaciones en campo*Efectividad de Proveedores | | |
| = | | | |

Figura 21 Detalle de configuración de ecuación fase Ejecución

El modelo de la fase de ejecución simulado en tiempo real con variables base (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) determina tiempos demasiado lentos en la transición de entrega de la ingeniería (alrededor de 30 semanas para un proyecto de 50), así mismo el crecimiento es inusual para la construcción completa en uso. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

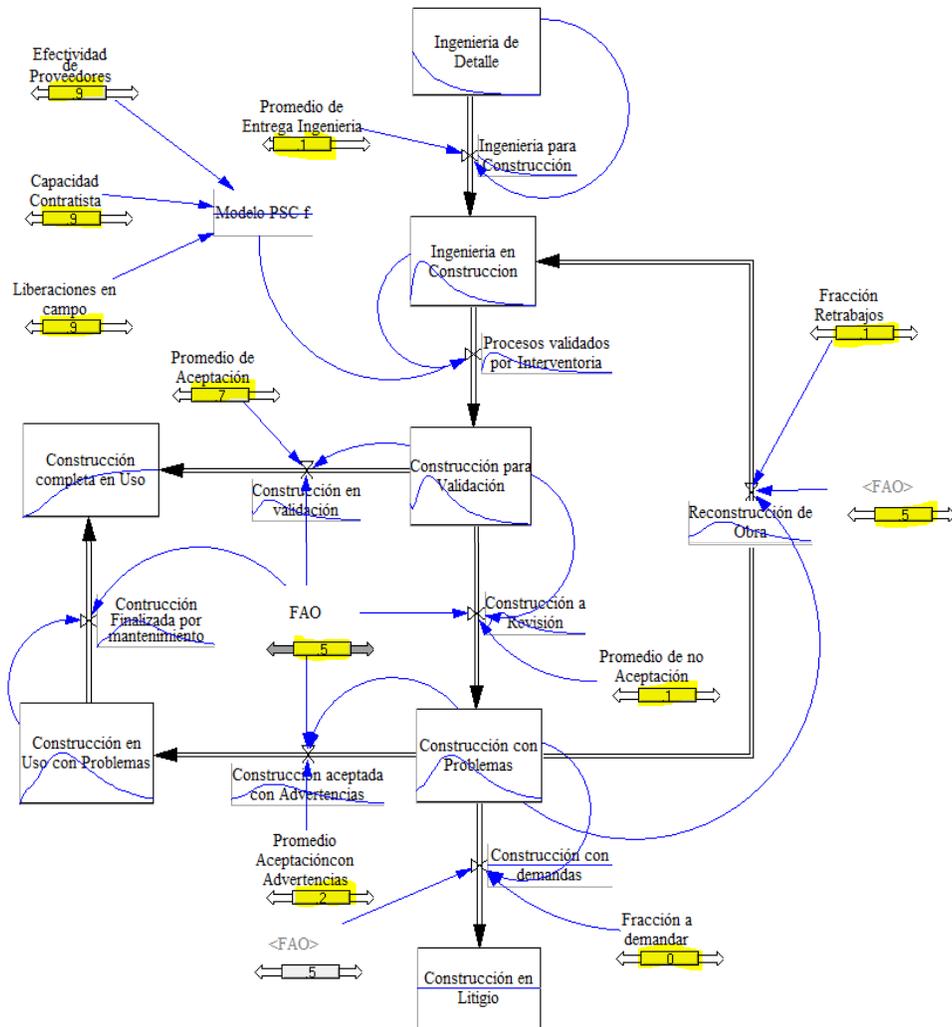


Figura 22 Modelo base fase Ejecución

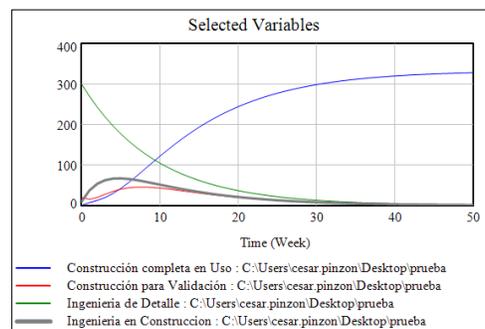


Figura 23 Graficas de simulación base fase Ejecución

Bajo el resultado anterior, es necesario realizar ajustes en las variables asociadas a los temas de ingeniería y construcción para generar tiempos de simulación más consistentes (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que permitan visualizar procesos con tiempos más consistentes para la transición de la ingeniería, la construcción y validación de la obra en la fase.

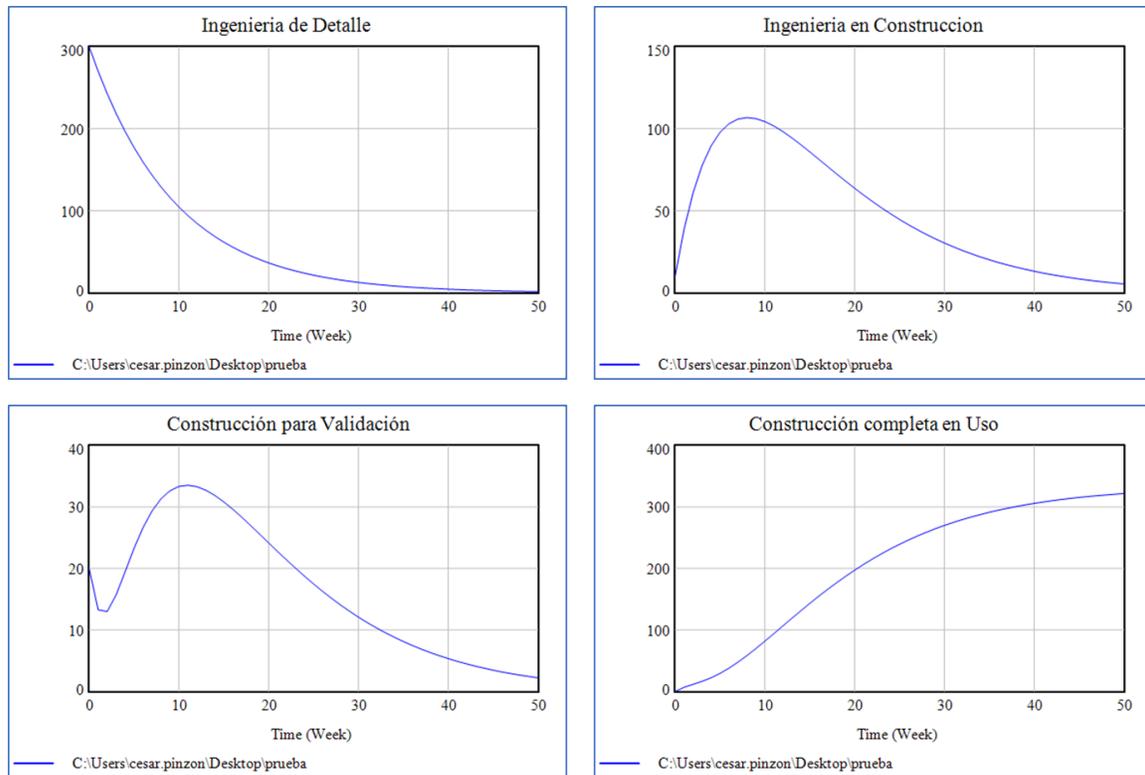


Figura 25 Graficas de simulación consistentes fase Ejecución

2.2.4. Fase seguimiento y Control

Para realizar este proceso debemos actualizar los valores en las variables auxiliares (constantes y funcionales) generados desde la analítica de datos (ver anexo C).

De acuerdo con los resultados de las encuestas (ver anexo F) y bajo la estructura de la analítica pertinente se obtienen los datos para las variables del modelo. Las variables con dato constante definido desde la analítica son: reserva de contingencia, gestión de costos, fator de sobrecosto, PMB y FAO. Ver Tabla 13 Datos de variables constantes fase Seguimiento y Control.

Tabla 13 Datos de variables constantes fase Seguimiento y Control

| | | | |
|------------------------|-------|------------|-----|
| R. Contingencia | 0.1 | PMB | 0.8 |
| G. Costos | 0.2 | FAO | 0.6 |
| F. Sobrecosto | 0.003 | | |

Los valores de los datos de inicio en las variables de nivel: % completado, BAC (*budget at completion*) y costos, y los datos base para las variables de estabilidad se muestran en la Tabla 14 Valores de nivel fase Seguimiento y Control.

Tabla 14 Valores de nivel fase Seguimiento y Control

| Variables de Nivel | Vo |
|-----------------------|-------------------|
| % completado | 0.01 |
| BAC | \$ 100,000,000.00 |
| Costos | \$ 1,000,000.00 |
| % completado planeado | 0.01 |

Respecto a las bases de operación en las variables de Nivel para esta fase tenemos:

Ecuación 5 Ecuaciones variables de nivel fase S&C

$$\text{BAC} = \text{Flujo de Caja} - \text{Pago a proveedores.}$$

$$\text{Costos} = \text{Pago a Proveedores} + \text{Costos Adicionales}$$

$$\% \text{ completado} = \text{Gestión de Alcance}$$

$$\% \text{ completado planeado} = \text{Alcance PMB}$$

Las variables auxiliares relacionadas con la gestión de proyecto: valor ganado, CPI, valor planeado y SPI están determinadas por funciones básicas (gráfica y operacional) respectivamente. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

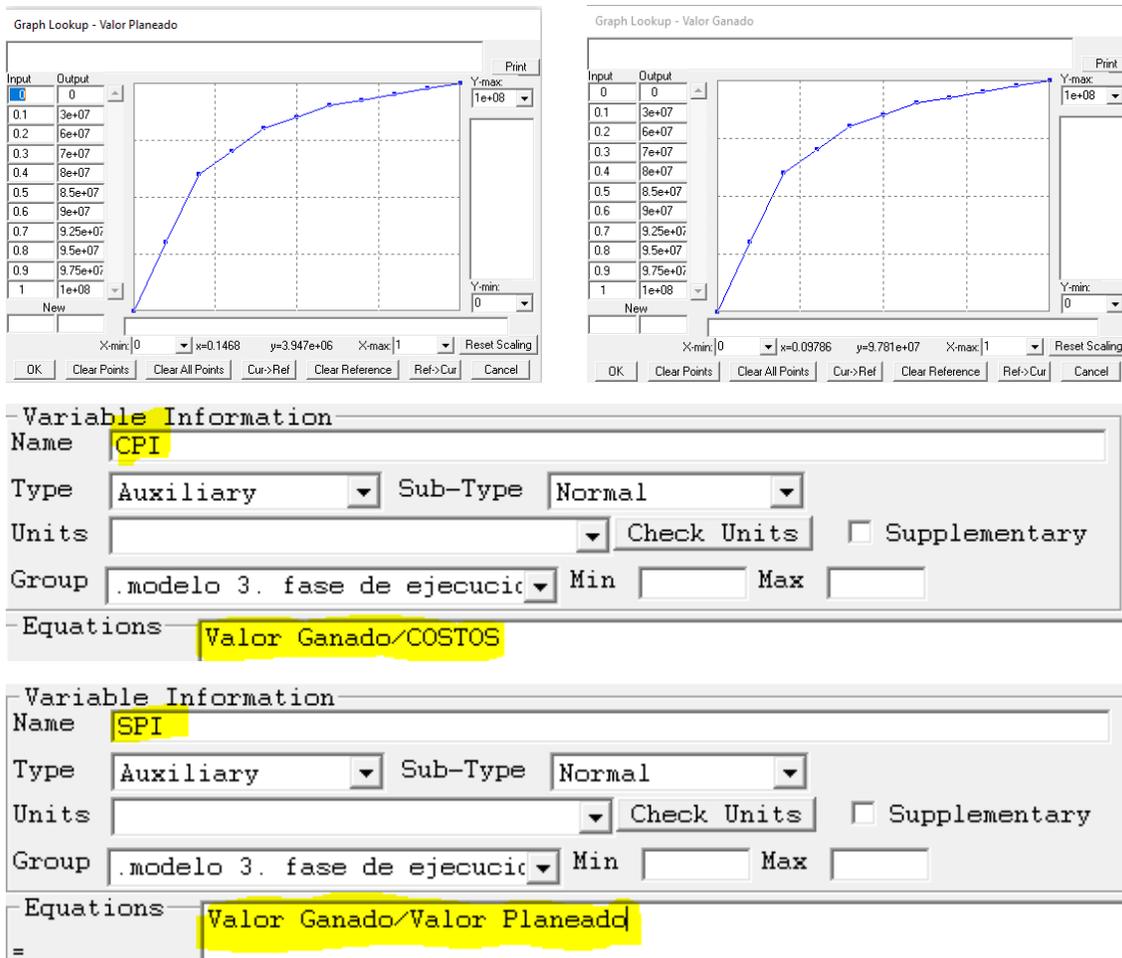


Figura 26 Configuración funcional de variables EV, PV y Rendimientos

El modelo de la fase de seguimiento y control esta simulado en paralelo al modelo de ejecución, el tiempo de análisis es común y los parámetros son consistentes a nivel de variables *Shadow*, esto nos permite visualizar en el análisis de sensibilidad la afectación de los rendimientos bajo variaciones en las variables de ejecución.

Con las variables bajo la analítica de la encuesta el modelo es estable pero los rendimientos no son adecuados bajo la gerencia moderna de proyectos, en ese sentido se realiza un ajuste en las variables de reserva de contingencia y factor de sobrecosto; de esta manera, el modelo base la tendencia del CPI (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) muestra bajo la parametrización inicial una estabilidad, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

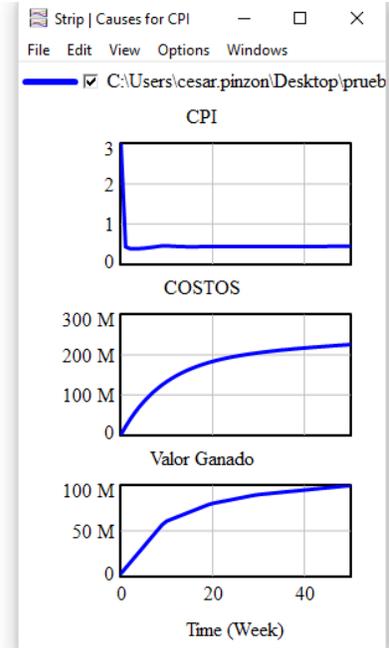
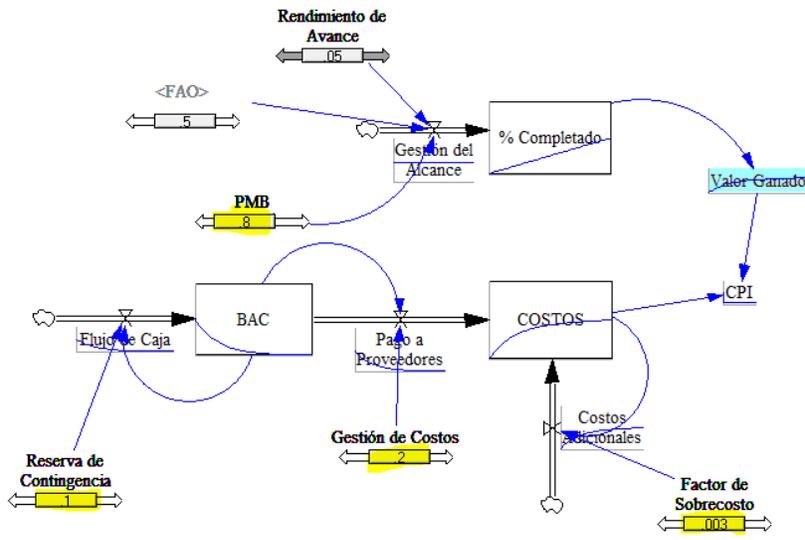


Figura 27 Modelo inestable de costos fase Seguimiento y Control

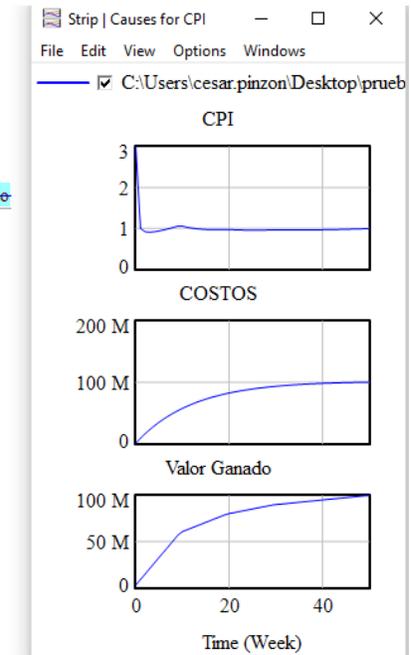
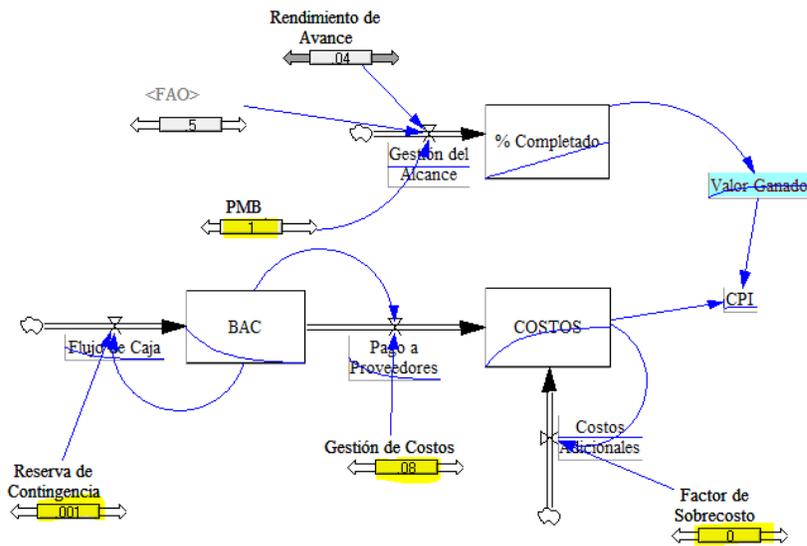


Figura 28 Modelo estable de costos fase Seguimiento y Control

Para el modelo base la tendencia del SPI (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) muestra bajo la parametrización inicial una estabilidad, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

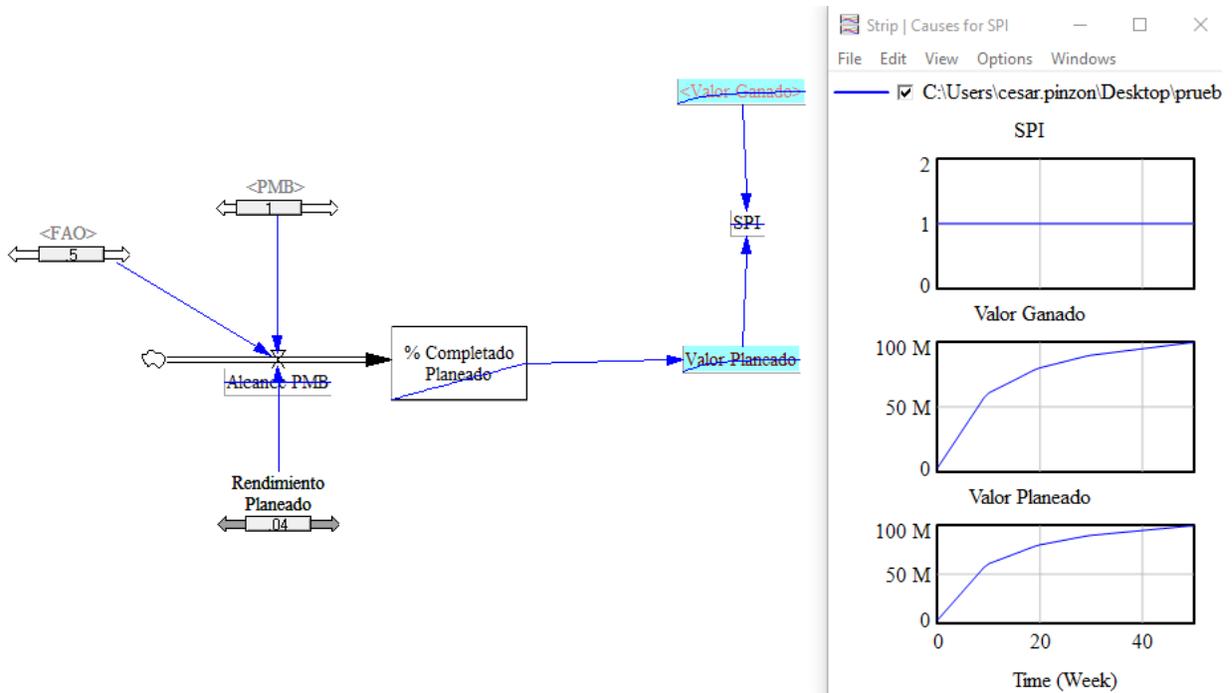


Figura 29 Modelo estable de alcance fase Seguimiento y Control

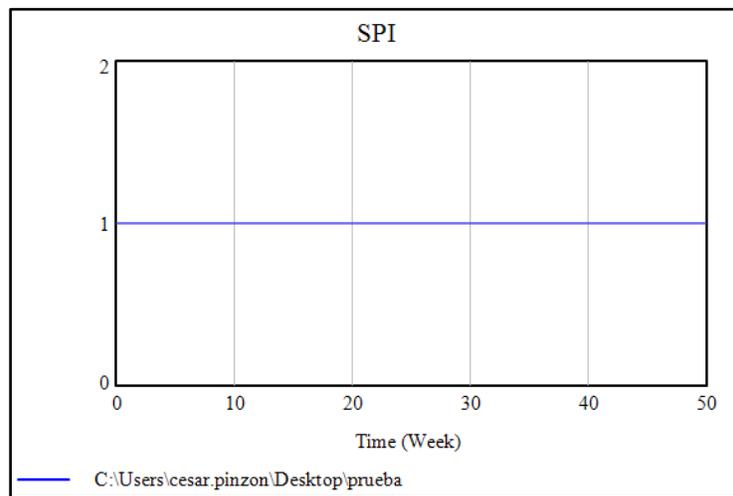


Figura 30 Tendencia SPI ideal fase Seguimiento y Control

3. Análisis de Sensibilidad y Rangos de Criticidad

El análisis de sensibilidad para un modelo desarrollado bajo la dinámica de sistemas consiste en analizar y determinar conclusiones bajo la variación de las variables involucradas en él, esto se debe a la integración que tienen estas en las relaciones funcionales, la forma más simple para generar este proceso está relacionada con modificar los valores de las estas variables y con ello se puede determinar porcentualmente la variación frente a la salida de las variables.

El análisis de sensibilidad consiste básicamente en modificar la hipótesis bajo cambios en los parámetros en una o varias variables al tiempo, luego se realiza el proceso de simulación para determinar los espectros de salida, este proceso debe realizarse en repetidas ocasiones con el objeto de obtener un buen espectro de valores de salida

3.1. Modelo fase Inicio: Para el modelo de la fase de inicio realizaremos variaciones de los parámetros en las variables FAO, numero de *Stakeholders* y tasa de retardo del cliente, así mismo los espectros de salida son los stocks requerimientos recibidos, APU's e intervenciones con el cliente.

3.1.1. Sensibilidad y rangos variable FAO: Esta variable inicia desde la hipótesis con un valor de 0.6 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba y abajo del valor de la hipótesis.

Para FAO=0.3 (rango inferior) el sistema muestra al modelar avisos de advertencia por generación de valores fuera de rango permitido, específicamente en el *stock* "Intervenciones del cliente". Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

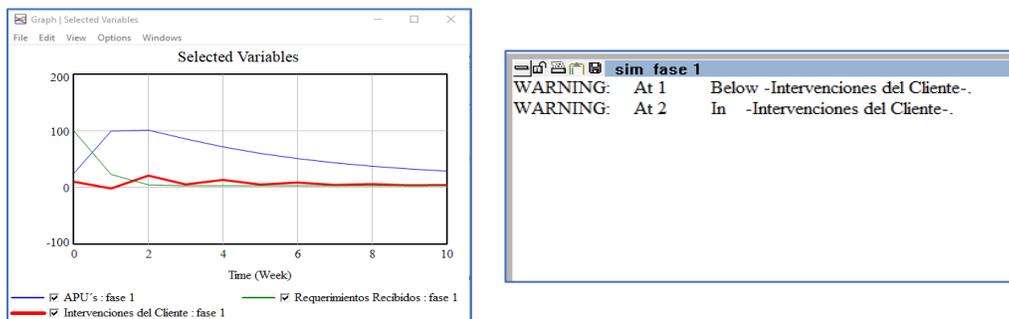


Figura 31 Espectro de Salida fase Inicio - FAO=0.6

Para valores de FAO por encima del valor hipótesis los espectros de salida muestran un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

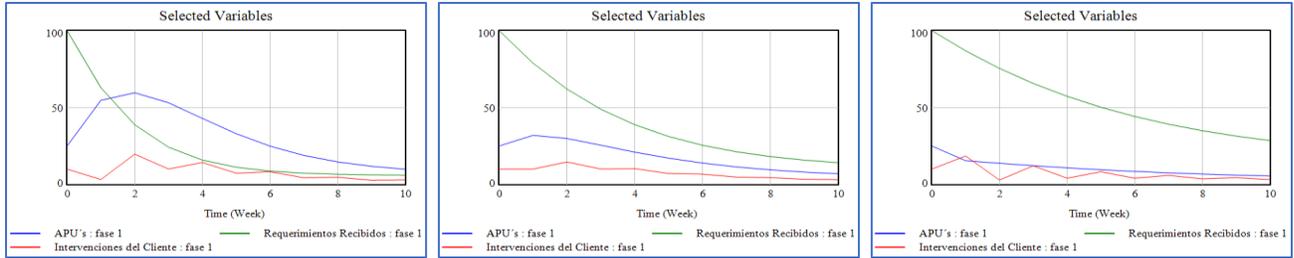


Figura 32 Espectros de Salida y Sensibilidad - fase Inicio FAO (0.6, 1, 1.5)

Para FAO=2 (rango superior) el sistema muestra al modelar avisos de advertencia por generación de valores fuera de rango permitido, específicamente en el stock “Intervenciones del cliente”. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



Figura 33 Espectro de Salida fase Inicio - FAO=2

También es importante referenciar que esta variable es indeterminada para el sistema cuando FAO=0. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

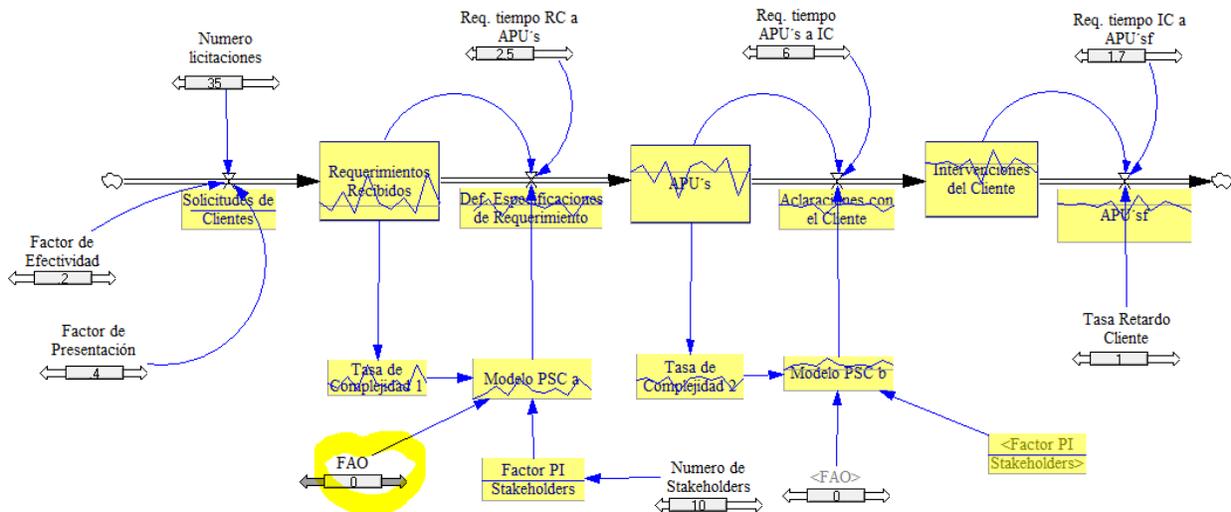


Figura 34 Simulación no valida fase Inicio FAO=0

3.1.2. Sensibilidad y rangos variable # de Interesados: Esta variable inicia desde la hipótesis con un valor de 10 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba y abajo del valor de la hipótesis.

Para valores de #Sh en un rango desde 0 y hasta 30 los espectros de salida muestran un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

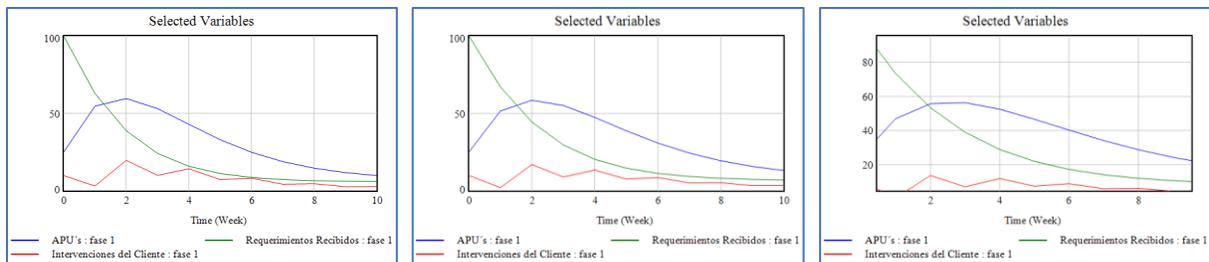


Figura 35 Espectro de salida fase Inicio #Sh

Para un valor de la variable de 40 el sistema nos muestra una advertencia en el momento de correr la simulación, esto se debe a que el stock que relaciona las intervenciones del cliente se vuelve negativo. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

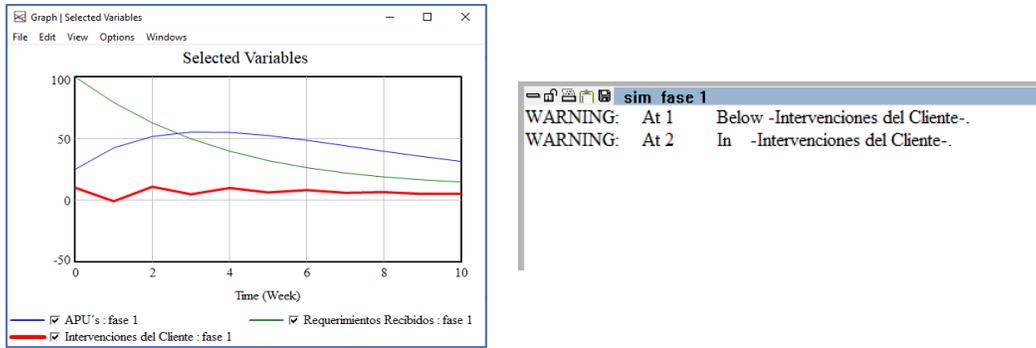


Figura 36 Espectro de salida fase inicio Rango critico

3.1.3. **Sensibilidad y rangos variable tiempo de retardo cliente:** Esta variable inicia desde la hipótesis con valor de 1 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba y abajo del valor de la hipótesis.

Para valores de T. Retardo Cliente en un rango desde 0.1 y hasta 1.1 los espectros de salida muestran un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

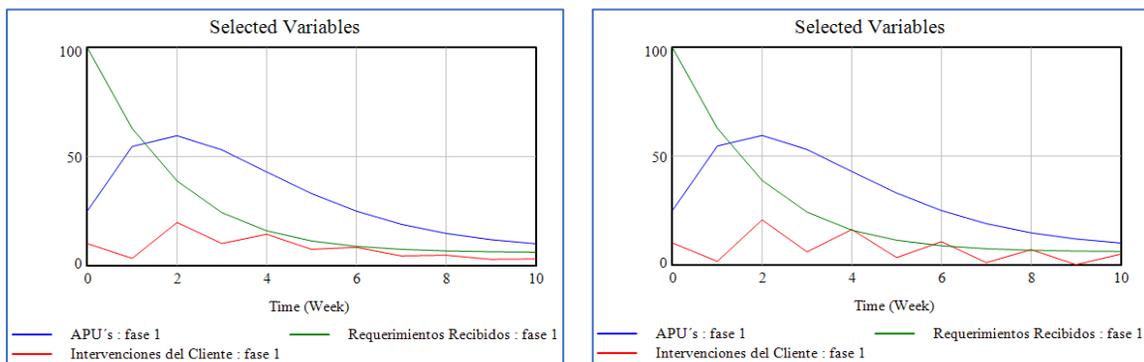


Figura 37 Espectro de salida fase Inicio T.R. cliente

Un análisis de Sensibilidad en resumen muestra para la fase de inicio lo siguiente:

- El stock de requerimientos recibidos muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable FAO, y en un grado menor con la variación del número de interesados. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

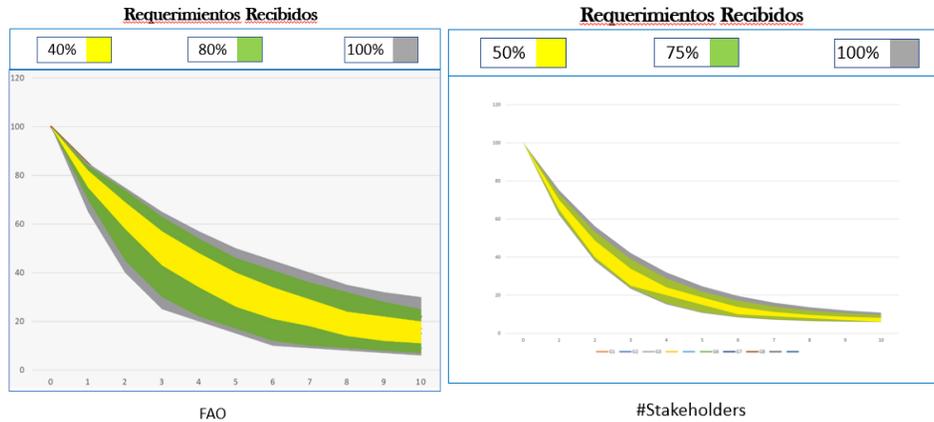


Figura 38 Análisis de Sensibilidad fase Inicio - Requerimientos Recibidos

- El stock de APU´s muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable FAO en las primeras semanas de simulación, y para la variable de # de stakeholders la sensibilidad es más alta en las últimas semanas de simulación. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

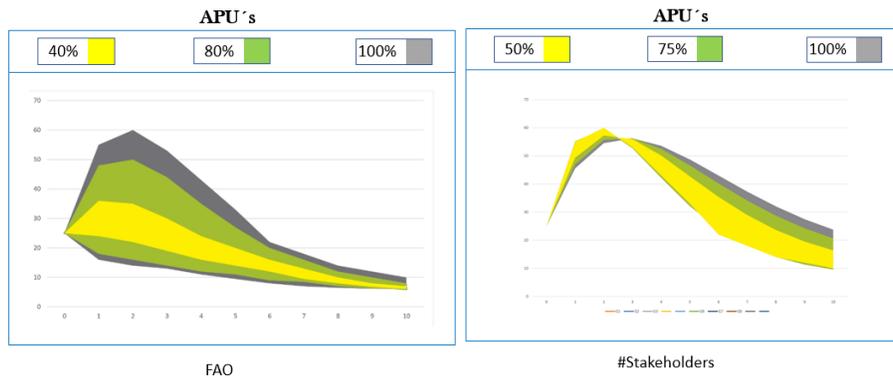


Figura 39 Análisis de Sensibilidad fase Inicio – APU´s

- El stock de Intervenciones del cliente muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable Tasa de Retardo Cliente, seguido por variaciones de FAO (primeras semanas de simulación). Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

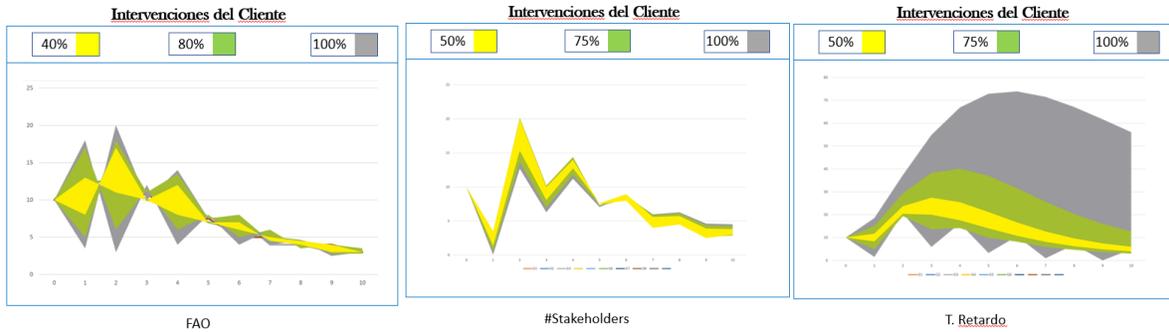


Figura 40 Análisis de Sensibilidad fase Inicio - Intervenciones del cliente

3.2. **Modelo fase Planeación:** Para el modelo de la fase de planeación realizaremos variaciones de los parámetros en las variables FAO, numero de *Stakeholders* y Requerimiento de tiempo para la construcción, así mismo los espectros de salida son los stocks integración de requerimientos, *work package & planning package* y planeación del proyecto (PMB).

3.2.1. **Sensibilidad y rangos variable FAO:** Esta variable inicia desde la hipótesis con valor de 0.6 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba y abajo del valor de la hipótesis.

Para valores de FAO en un rango desde 0.1 y hasta 0.84 los espectros de salida muestren un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

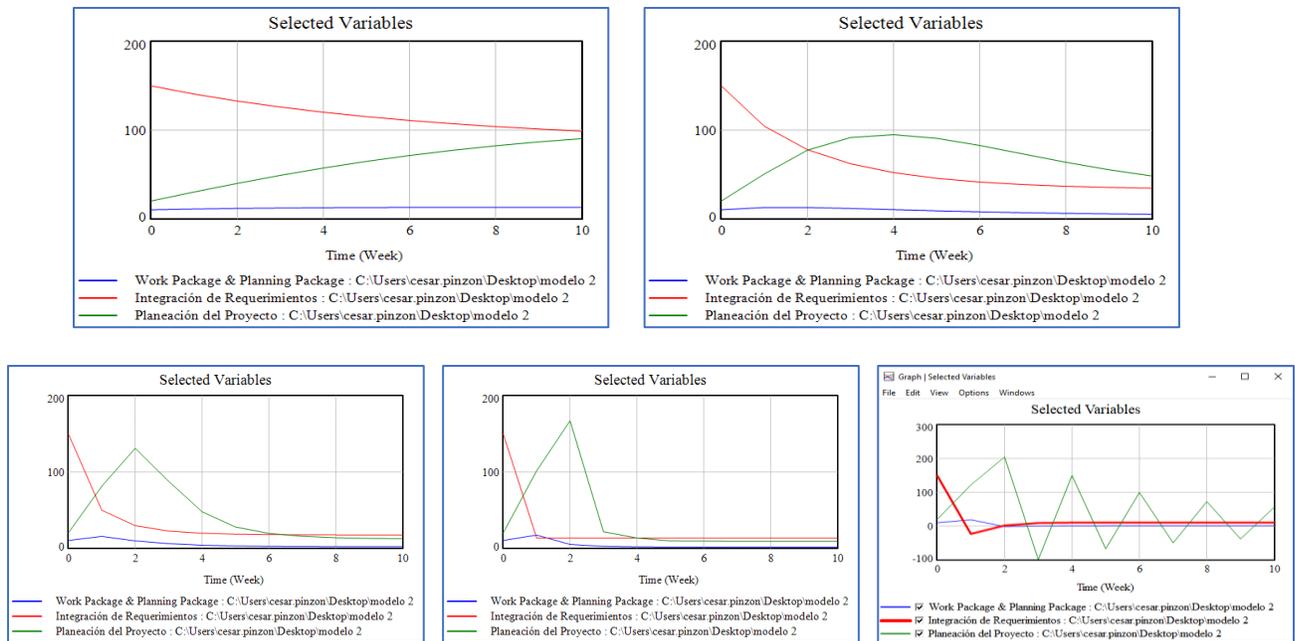


Figura 41 Espectro de salida fase Planeación FAO

También es importante referenciar que esta variable es indeterminada para el sistema cuando $FAO=2.1$. Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

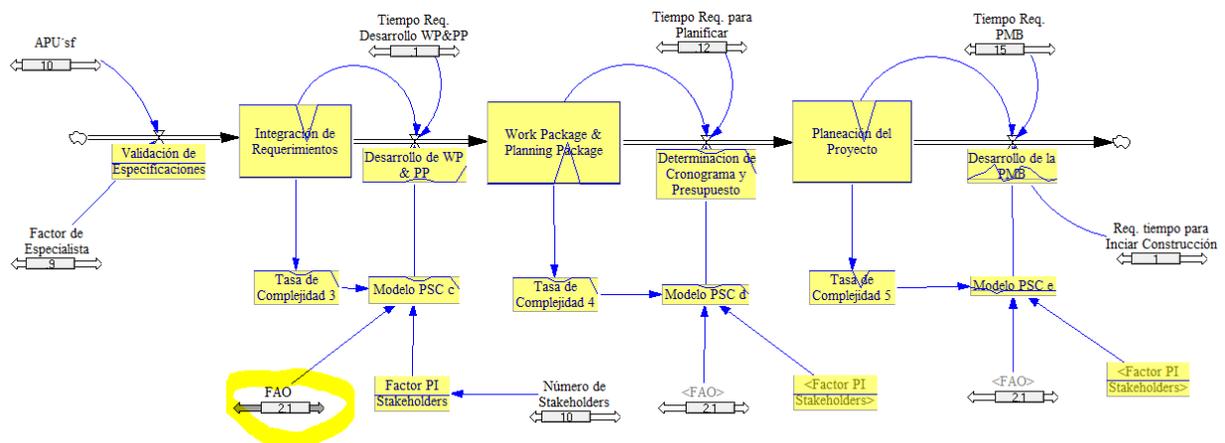


Figura 42 Simulación no valida fase Planeación FAO=2.1

3.2.2. Sensibilidad y rangos variable # de Interesados: Esta variable inicia desde la hipótesis con valor de 10 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba y abajo del valor de la hipótesis.

Para valores de # de interesados en un rango desde 0 y hasta 23 los espectros de salida muestran un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

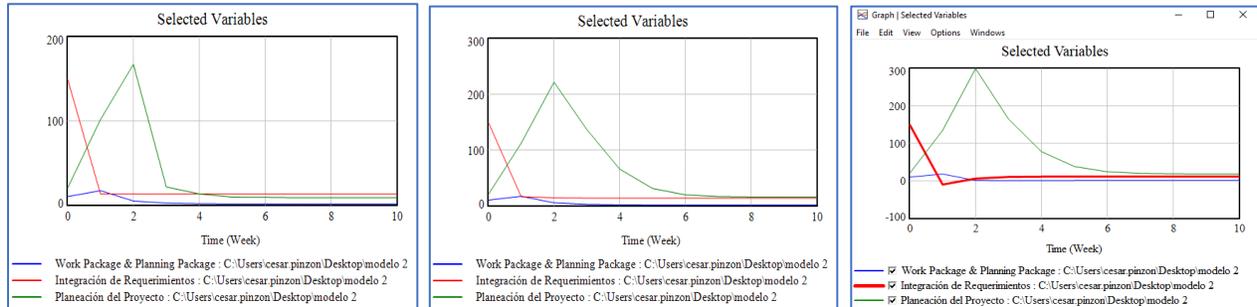


Figura 43 Espectro de salida fase Planeación #Interesados

También es importante referenciar que esta variable es indeterminada para el sistema cuando $\#St = 42.75$. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

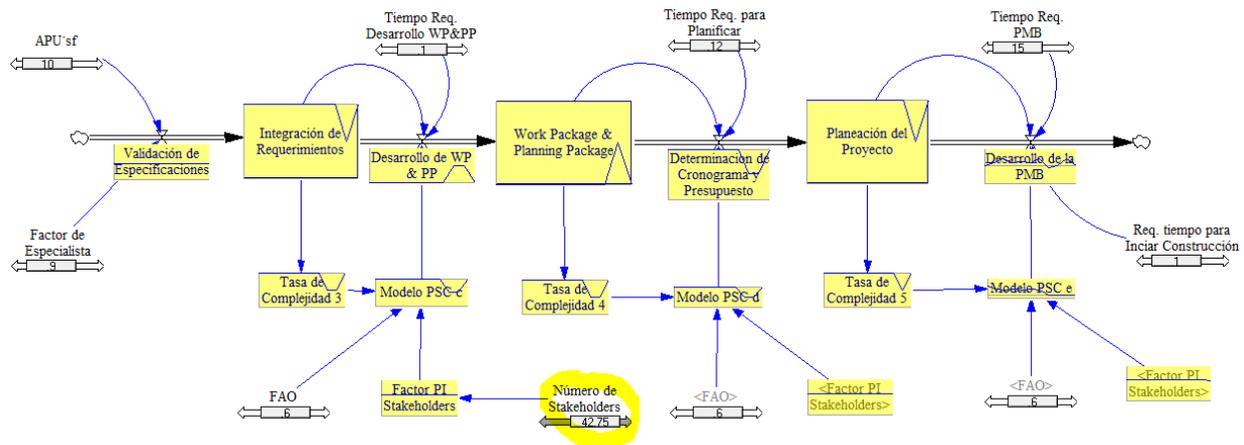


Figura 44 Simulación no valida fase Planeación #Sh=42

3.2.3. Sensibilidad y rangos variable tiempo de construcción: Esta variable inicia desde la hipótesis con valor de 1 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba y abajo del valor de la hipótesis.

Para valores de # de interesados en un rango desde 0 y hasta 1.7 los espectros de salida muestran un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

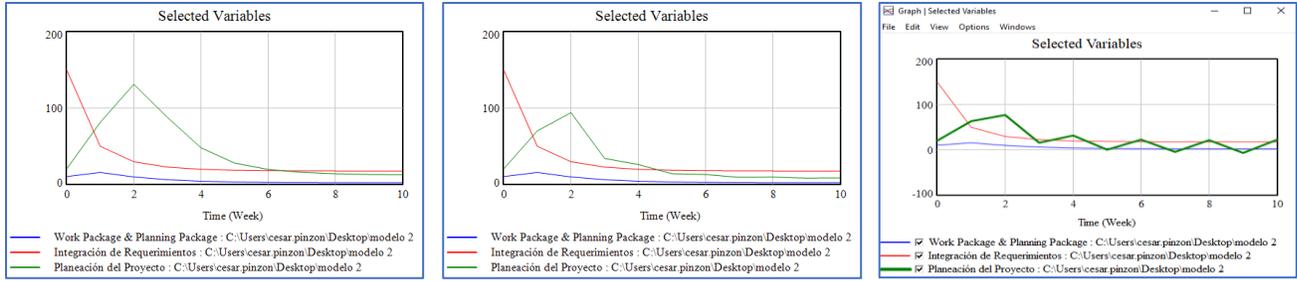


Figura 45 Espectro de salida fase Planeación T. Construcción

Un análisis de Sensibilidad en resumen muestra para la fase de planeación lo siguiente:

- El stock de integración de requerimientos muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable FAO, y en un grado menor con la variación del número de interesados. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

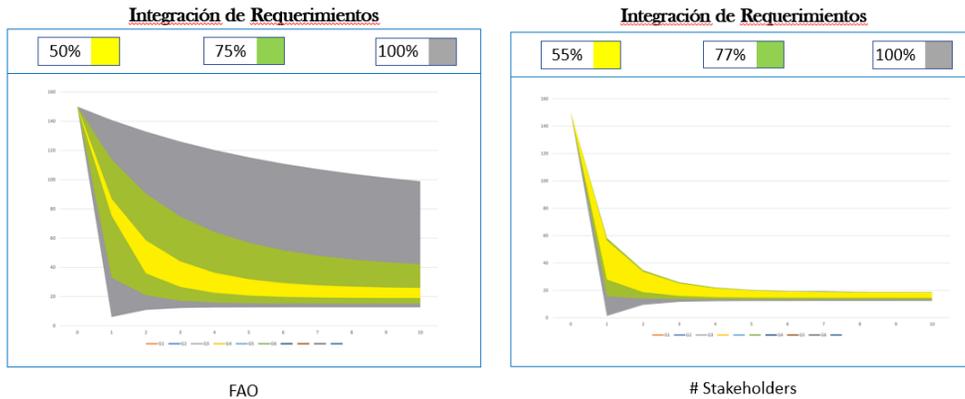


Figura 46 Análisis de Sensibilidad fase Planeación - Integración de Requerimientos

- El stock de WP & PP muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable FAO, y en un grado menor con la variación del # Stakeholders. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

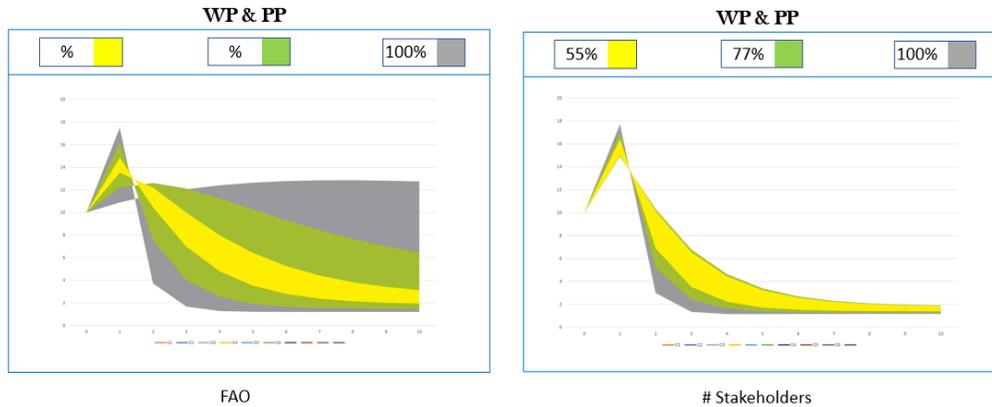


Figura 47 Análisis de Sensibilidad fase Planeación - WP&PP

- El stock de planeación del proyecto muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable tiempo de construcción, y en un grado menor con la variación de FAO y por último con el # de *stakeholders*. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

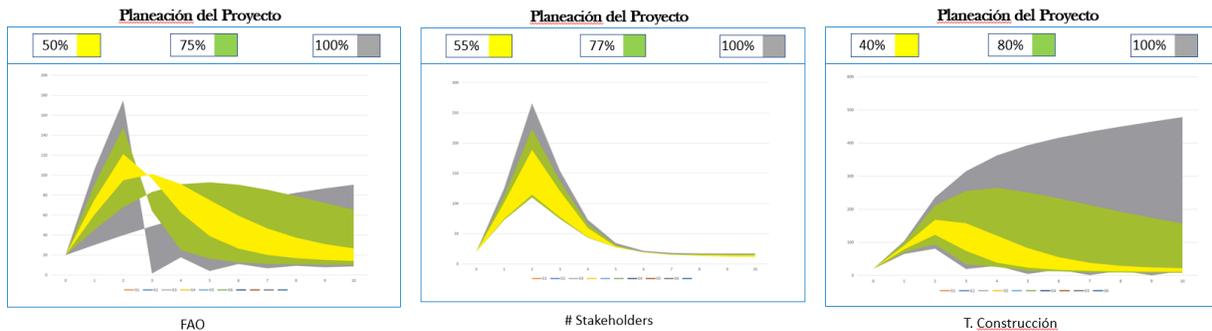


Figura 48 Análisis de Sensibilidad fase Planeación - Planeación del Proyecto

- 3.3. **Modelo fase Ejecución:** Para el modelo de la fase de ejecución realizaremos variaciones de los parámetros en las variables FAO, promedio de entrega de ingeniería, la variable PSC f (efectividad de proveedor, capacidad de contratista y liberaciones en campo) así mismo los espectros de salida son los stocks ingeniería de detalle, ingeniería en construcción, construcción para validación y construcción completa en uso.

- 3.3.1. **Sensibilidad y rangos variable FAO:** Esta variable inicia desde la hipótesis con valor de 0.5 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba y abajo del valor de la hipótesis.

Para valores de FAO en un rango desde 0.1 y hasta 1.3 los espectros de salida muestren un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos (específicamente en los stock de construcción para validación y

construcción completa en uso), con un grado de sensibilidad como se muestra en
¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

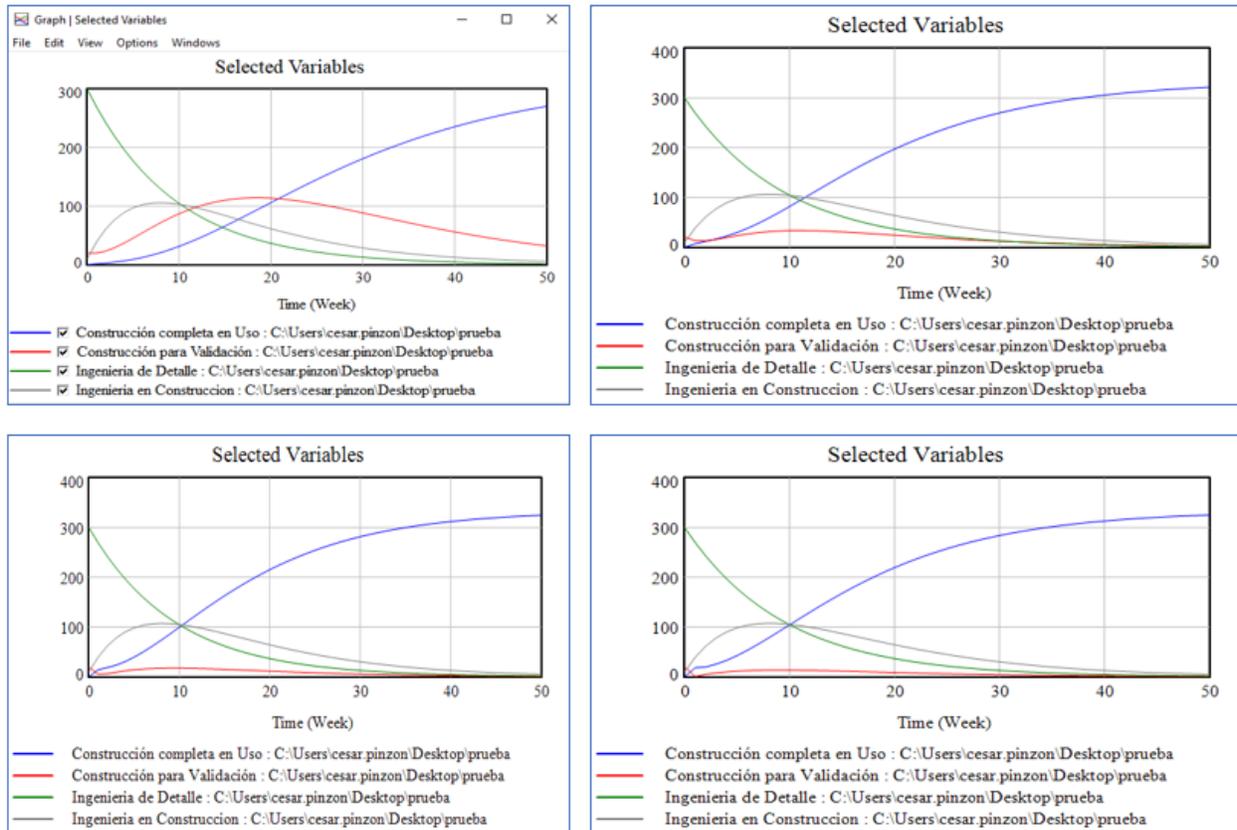


Figura 49 Espectro de salida fase Ejecución - FAO

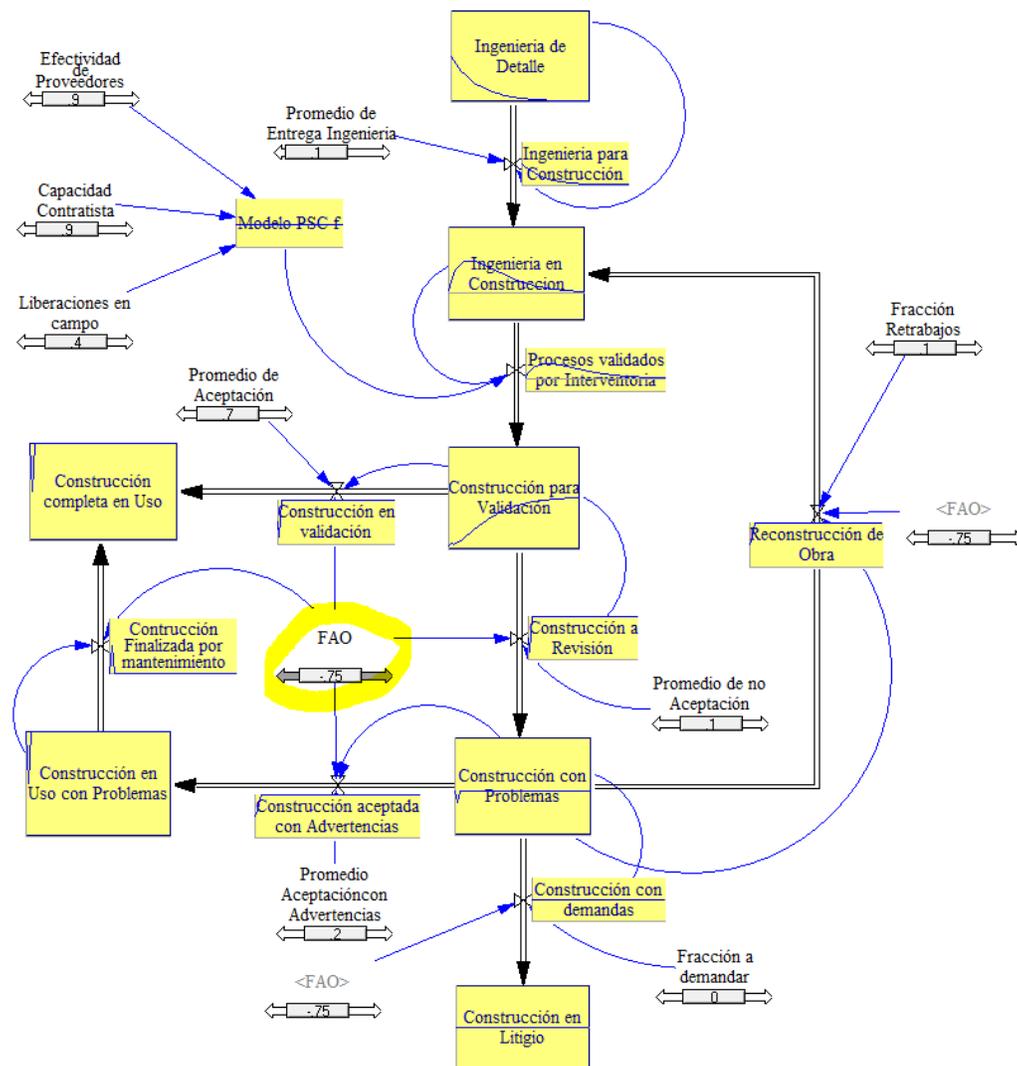


Figura 50 Simulación no valida fase Ejecución / S&C FAO<0

3.3.2. Sensibilidad y rangos variable Promedio de entrega ingeniería: Esta variable inicia desde la hipótesis con valor de 0.1 en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores arriba del valor de la hipótesis.

Para valores de promedio de entrega de ingeniería en un rango desde 0.1 y hasta 1 los espectros de salida muestran un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

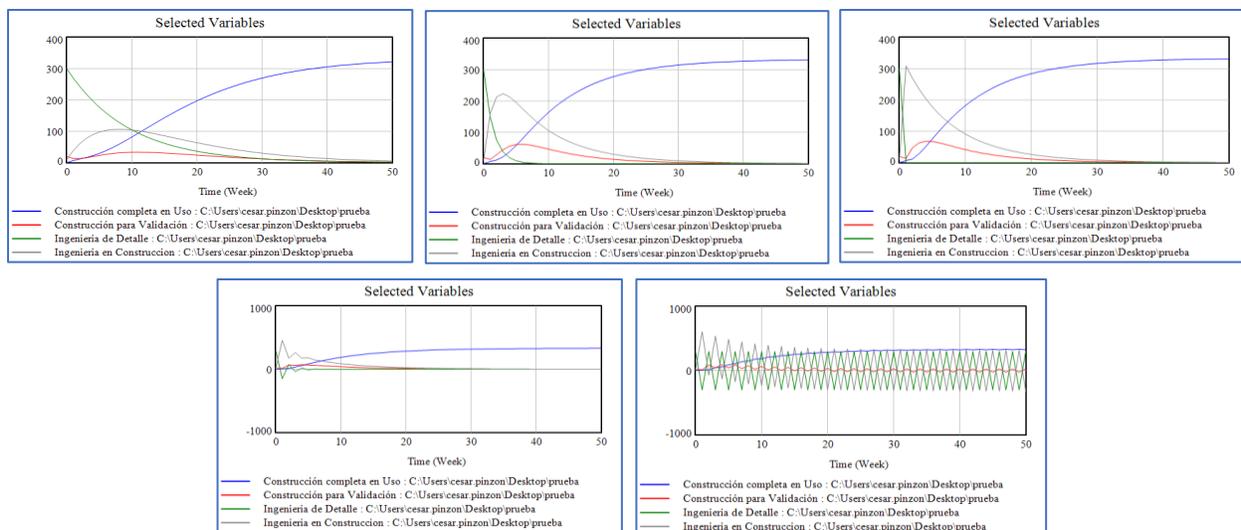


Figura 51 Espectro de salida fase Ejecución E. Ingeniería

3.3.3. **Sensibilidad y rangos variable PSC f:** Esta variable representa una combinación de tres elementos muy importantes en los procesos de ejecución, la efectividad de los proveedores, la capacidad del contratista y liberaciones en campo, inicia desde la hipótesis con valores de 0.9, 0.9 y 0.4 respectivamente en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores que se muestran en la Tabla 15 Variaciones agrupadas fase Ejecución PSC f.

Tabla 15 Variaciones agrupadas fase Ejecución PSC f

| Variable | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
|----------------------------|-----|-----|-----|----|-----|----|
| Efectividad de Proveedores | 0.9 | 0.9 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 |
| Capacidad Contratista | 0.9 | 0.9 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Liberaciones en Campo | 0.4 | 0.9 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Para valores de PSCf en rango desde S1 hasta S6 los espectros de salida muestren un aumento considerable en los tiempos determinados desde la hipótesis para estos, con un grado de sensibilidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

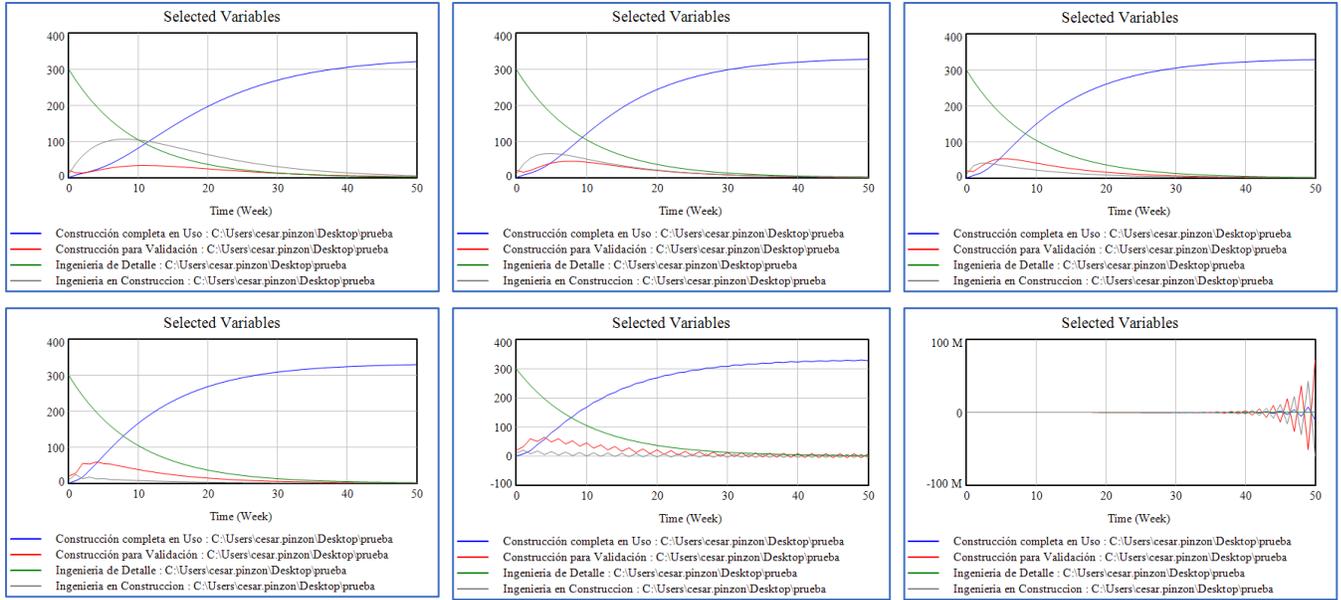


Figura 52 Espectro de salida fase Ejecución PSCf

Un análisis de Sensibilidad en resumen muestra para la fase de ejecución lo siguiente:

- El stock de Ingeniería de Detalle muestra gran sensibilidad a los cambios de la variable promedio de entrega de la ingeniería, donde una pequeña variación [0.1, 1] determina una variación de tiempos de desarrollo de la ingeniera aproximadamente de 40 a 1 semanas. Ver ;**Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

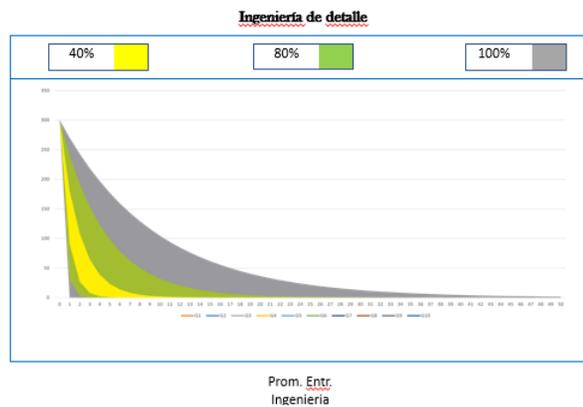


Figura 53 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución Ingeniería de Detalle

- El stock de Ingeniería en Construcción muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable PSCf, y en un grado menor con la variación del promedio de entrega de ingeniería, excepto durante las 10 primeras semanas de simulación es notorio un grado de sensibilidad mayor. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

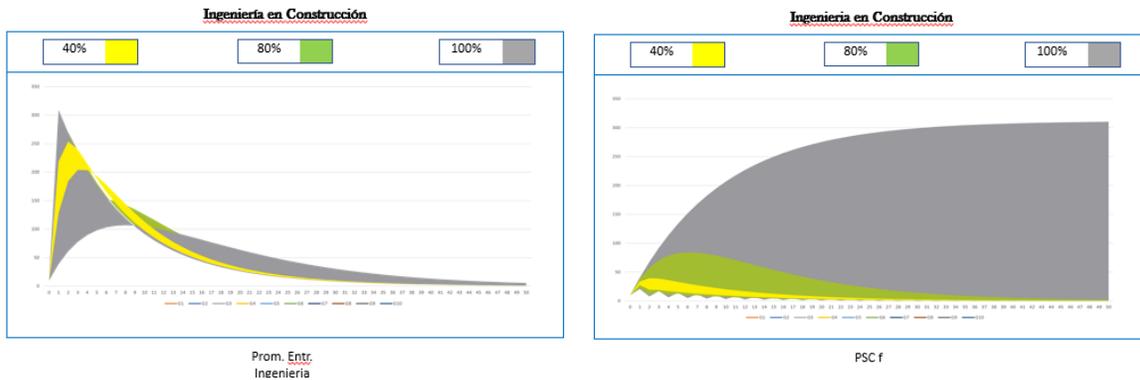


Figura 54 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución – Ingeniería en Construcción.

- El stock de Construcción para Validación muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable FAO, y en un grado menor con la variación de las variables PSCf y promedio de entrega de ingeniería respectivamente, aunque en PSCf, la primera parte del proyecto muestra sensibilidad media. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

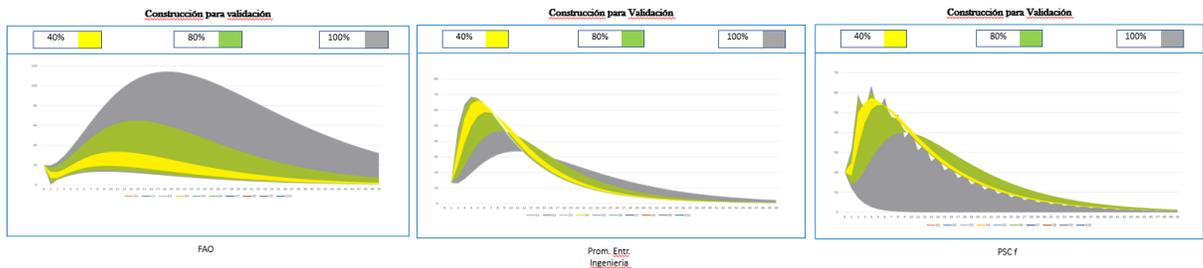


Figura 55 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución - Construcción para Validación

- El stock de Construcción completa en Uso muestra mayor sensibilidad a los cambios de la variable PSCf, y en un grado menor con la variación de FAO y el promedio de entrega de ingeniería respectivamente. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

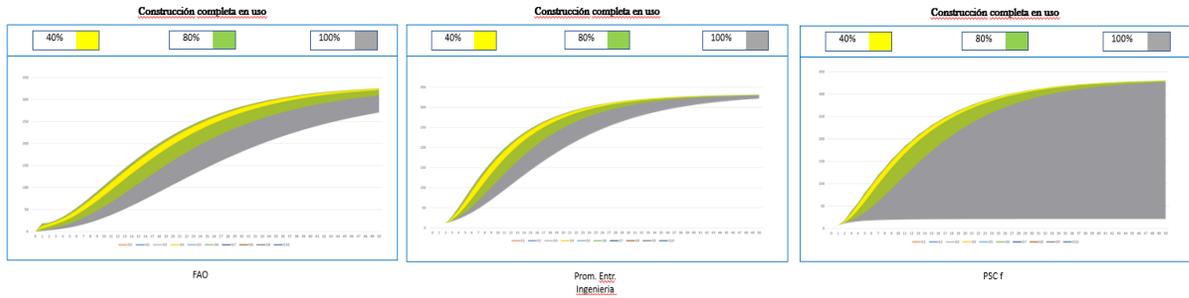


Figura 56 Análisis de Sensibilidad fase Ejecución - Construcción completa en Uso

3.4. **Modelo fase Seguimiento y Control:** Para el modelo de la fase de Seguimiento y Control realizaremos variaciones de los parámetros en las variables rendimiento de avance, PMB, gestión de costos, factor de sobrecosto y reserva de contingencia, así mismo, los espectros de salida son las variables CPI (*Cost Performance Index*) y SPI (*Schedule Performance Index*).

3.4.1. **Sensibilidad y rangos variable CPI:** Esta variable representa una combinación de varios elementos muy importantes en los procesos de ejecución, FAO, reserva de contingencia, gestión de costos, factor de sobrecosto y rendimiento de avance, inicia desde la hipótesis con valores de 0.5, 0.001, 0.08, 0 y 0.04 respectivamente en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores que se muestran en las siguientes figuras **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

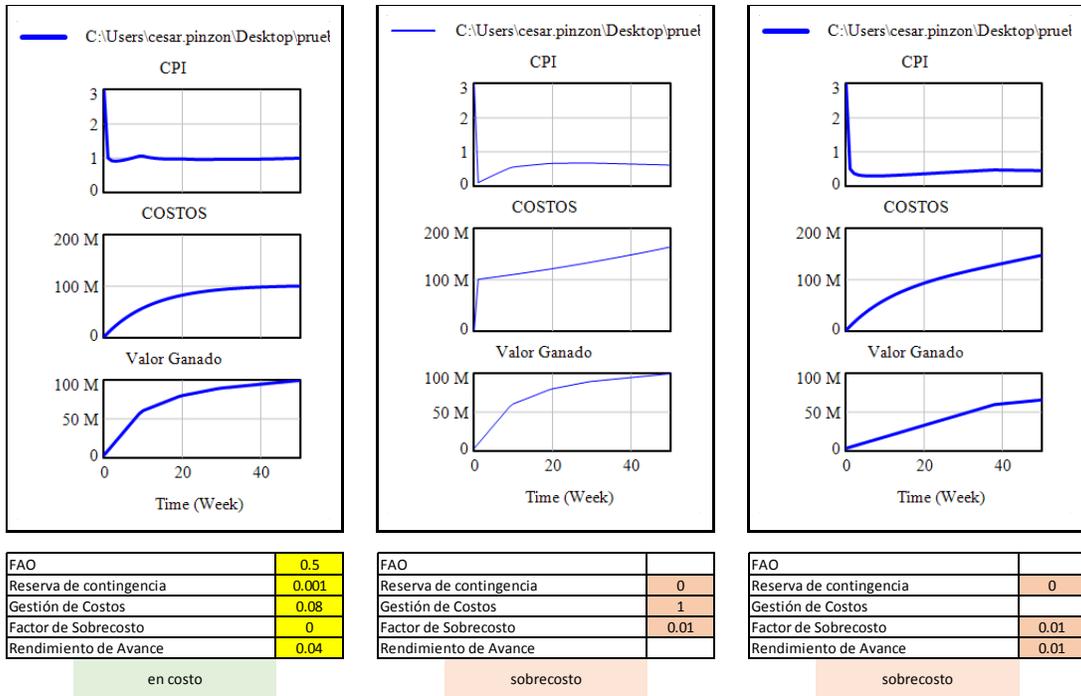


Figura 57 Espectro de salida fase S&C CPI - variación 1

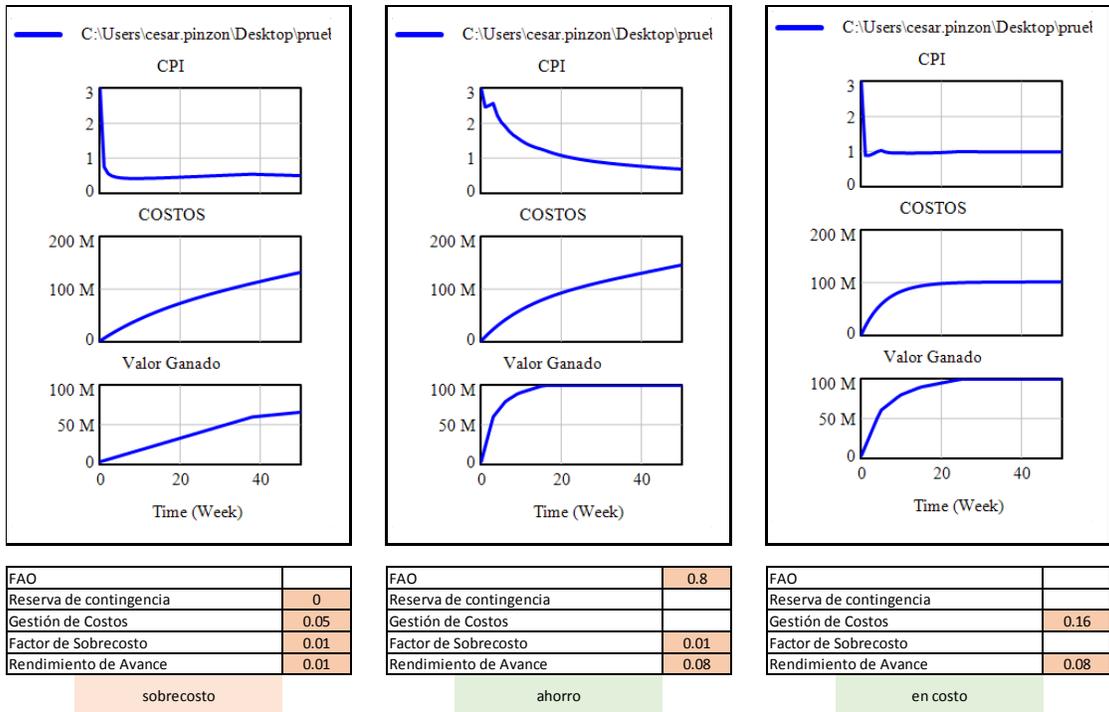


Figura 58 Espectro de salida fase S&C CPI - variación 2

3.4.2. **Sensibilidad y rangos variable SPI:** Esta variable representa una combinación de varios elementos muy importantes en los procesos de ejecución, FAO, rendimiento planeado y rendimiento de avance, inicia desde la hipótesis con valores de 0.5, 0.04 y 0.04 respectivamente en el modelo estable, las variaciones se desarrollarán con valores que se muestran en las siguientes figuras **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

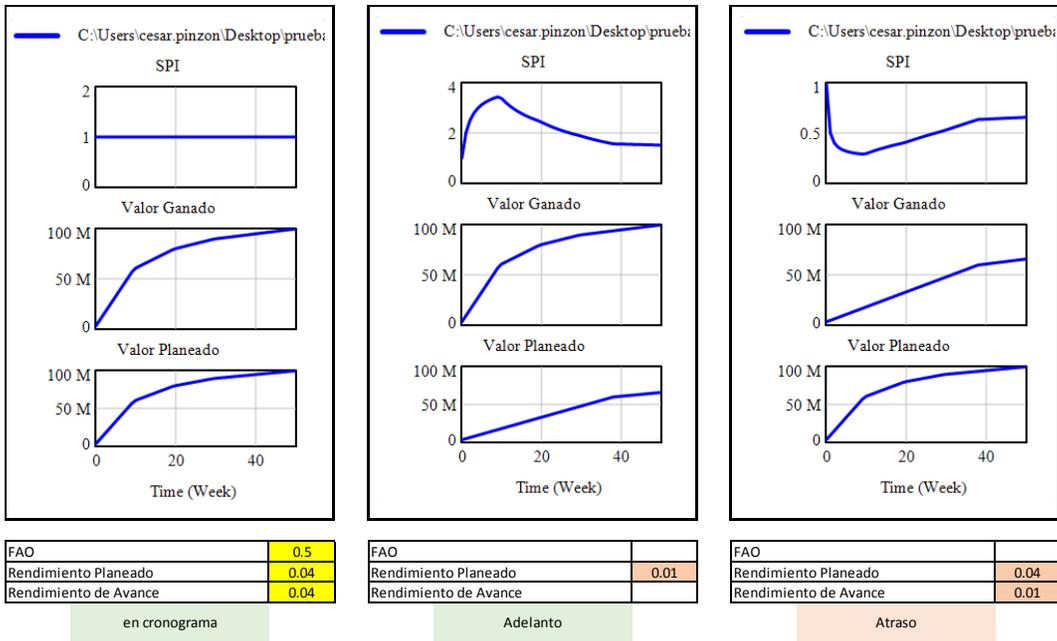


Figura 59 Espectro de salida S&C SPI - variación 1

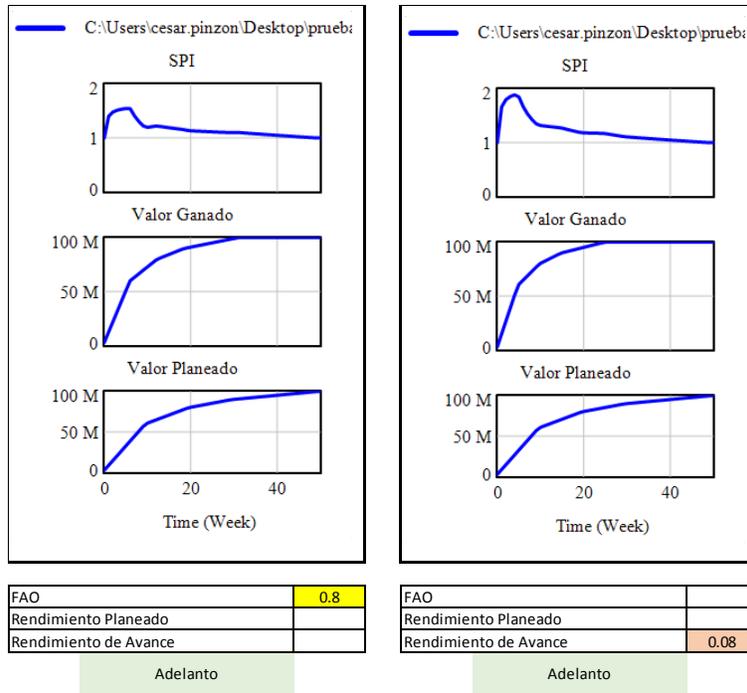


Figura 60 Espectro de salida S&C SPI - variación 2

Un análisis de Sensibilidad en resumen muestra para la fase de seguimiento y control lo siguiente:

- La variable CPI presenta mayor sensibilidad a los cambios de las variables del segundo escenario de análisis (gestión de costos, factor de sobrecosto, reserva de contingencia) especialmente durante las primeras semanas de simulación, adicionalmente el primer escenario se mueve dentro de la zona de sobrecosto y el segundo en ambas zonas, sobrecosto y ahorro. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

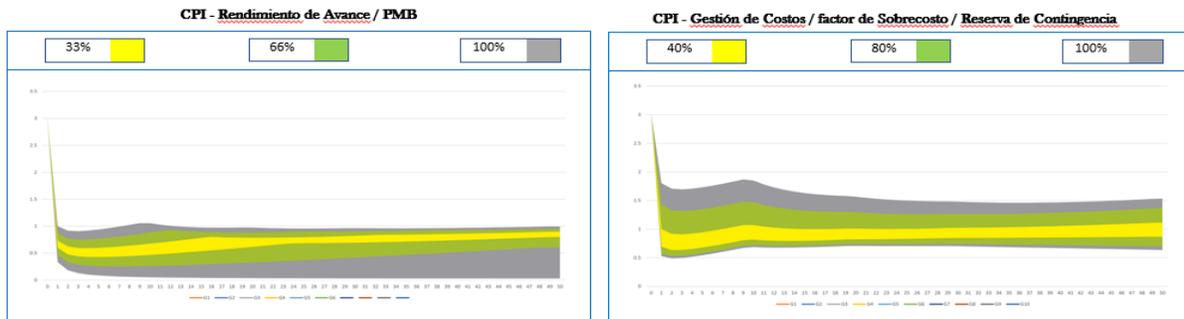


Figura 61 Análisis de Sensibilidad fase S&C - CPI

- La variable SPI presenta mayor sensibilidad bajo el modelo de las variables rendimiento de avance y PMB en la zona de atraso, solamente durante las primeras semanas de simulación presenta un equilibrio en ambas zonas, atraso y adelanto. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

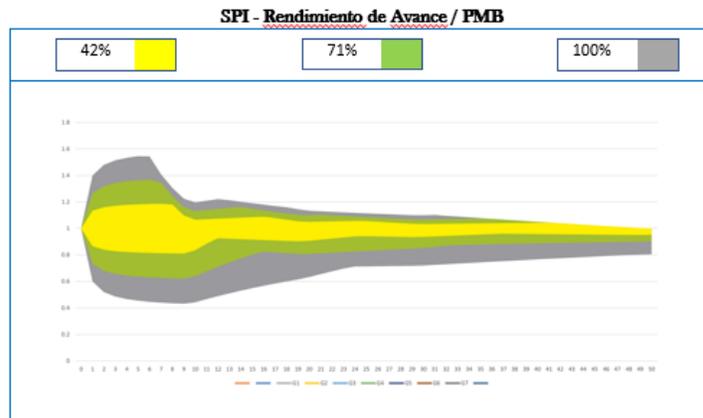


Figura 62 Análisis de Sensibilidad fase S&C - SPI

Bibliography

Amelia, D. F., Jung, D., & Iurchenko, V. (July 20-24, 2014). Analysis of project management processes at a Dutch public infrastructure agency using group model-building. *32nd International Conference of the System Dynamics Society* (pp. 1-12). Delf, Netherlands: www.systemdynamics.org.

Federación internacional de ingenieros consultores; FIDIC. (2017). *Silver Book EPC/turnkey projects*. (segunda edición. ed.). Genova, Italia: FIDIC.