

REVISIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS PARA EDIFICIOS DE ALTURA Y PROPOSICIÓN PARA APLICAR EN LA REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE

Oscar Contreras González

Universidad de La Serena, Chile

Pablo Aragonés

Universidad Politécnica de Valencia

Abstract

This document proposes a review of different methods for estimating durations of activities or tasks in the classical models of programming projects and a proposal for improvement of these estimates, using stochastic models. Is intended to apply to projects of high buildings in the Region of Coquimbo, Chile. In the introduction, a study of the techniques and latest programming methods and then, there is the modeling for the characteristics of the area described. Finally, some conclusions and suggestions from which justifies the development of the model.

Keywords: *project; scheduler; stochastic.*

Resumen

El presente documento, propone una revisión de los diferentes métodos de estimación de las duraciones de las actividades o tareas en los modelos clásicos de programación de proyectos y una propuesta de mejora de éstas estimaciones, aplicando modelos estocásticos. Se pretende aplicar a los proyectos de construcción de edificios de altura en la Región de Coquimbo, Chile. En la introducción, se realiza un estudio de las técnicas y métodos de programación mas recientes y posteriormente, se plantea el modelamiento para las características de la zona descrita. Finalmente se realizan las conclusiones y sugerencias a partir de las cuales se justifica el desarrollo del modelo.

Palabras clave: *proyecto; programación; estocástico.*

1.- Introducción

La programación y secuenciación de las actividades de un proyecto, se refiere a la asignación óptima de recursos a dichas actividades en el tiempo. El problema de programación de proyectos consiste en la programación de las actividades del proyecto objeto de prioridad y/o limitaciones de recursos. Herroelen (2005).

La programación de los proyectos de construcción complejos, como lo son las edificaciones de altura, resulta difícil realizarlas con precisión con las técnicas actuales, como son; uso de Carta Gantt, CPM/PERT, Programación Lineal y las más avanzadas como; Simulación, Algoritmos Genéticos y Redes Neuronales, a pesar de disponer de una amplia gama de tecnologías de información y comunicaciones. Herroelen (2005), indica que además que la

programación de las actividades del proyecto, va de la mano con una adecuada asignación de recursos para establecer un programa que no escape finalmente en los tiempos y los costos.

En la Tabla Nº 1 se muestra un resumen de la clasificación de los tipos de programación de proyectos, propuesta por Ahuja et al. (2004). La que se considera adecuada para la revisión de los métodos de programación de las duración de las actividades. A éste resumen se le incorporará el análisis del método 4DCAD-Security Chantawit et al. (2005), que no estaba incluido.

Tabla Nº 1 - Proyectos con Incerteza en la Duración de la Actividades

Programación de Proyectos
Proyectos con Incerteza en la Duración de las Actividades
Limitaciones de la programación CPM/PERT
Herramientas y Desarrollo de Nuevas Técnicas
Técnicas de Programación Lineal
Técnicas de Simulación
Programación de Proyectos de Construcción tipo Fast-Track
Optimización Tiempo-Costo
Planificación de la Construcción

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

En la Tabla Nº 2 adjunta, se muestran las investigaciones realizadas en cuanto a la programación de proyectos que consideran la incerteza en la duración de sus actividades, en donde se aprecia que el uso de software es fundamental para desarrollar éstos métodos con sencillez; pero en general las duraciones de las actividades deben estar correlacionadas.

Tabla Nº 2 – Proyectos con Incerteza en la Duración de la Actividades

Tipos de Programación	Descripción/Requerimientos	Ventajas	Desventajas
Proyectos con Incerteza en la Duración de las Actividades			
Ben-Haim & Laufer (1998) SPECI C	Información mínima y subjetiva Apoyo con teoría fuzzy para transformar estado verbal a numérico	simple de usar y con nivel aceptable de fiabilidad	
Wang & Demsetz (2000) NETCOR	Duración de las actividades correlacionadas		Duración de las actividades deben estar correlacionadas

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

En la Tabla Nº 3, se puede apreciar las principales investigaciones relacionadas con las limitaciones encontradas, utilizando los métodos de programación CPM/PERT con nuevas técnicas. Estas nuevas técnicas presentan ciertas desventajas en el manejo de la incertidumbre tanto en la duración de las actividades como en los costos de dichas actividades en el proyecto.

**Tabla Nº 3 – Limitaciones de la Programación CMP/PERT
Herramientas y Desarrollo de Nuevas Técnicas**

Tipos de Programación	Descripción/Requerimientos	Ventajas	Desventajas
Limitaciones de la programación CPM/PERT			
Herramientas y Desarrollo de Nuevas Técnicas			
Fisher & Alami (1996) CPM/PERT	Traducción manual de información del diseño de las actividades	Disponibilida para el uso de las TIC's	No existe relación entre duración de actvs. y costes Necesarios mecanismos de integración
Gong (1997) Uso del Flotamiento u holgura	Uso en redes de proyectos para asignar recursos Integra análisis del riesgo del programa y del coste del proyecto	Reduce los costes del proyecto sin impactar su duración	Incertidumbre de tiempo de actividades no críticas son grandes, aumenta el riesgo, duración y coste.
Dawson & Dawson (1998) Técnicas de Programación Estandar	Semejante a PERT Establecer fdp para duración de las actividades y redes generalizadas del proyecto	Herramientas de desarrollo de software comunes Técnicas de gestionar para incertidumbre del proyecto	Inadecuada en proyectos con incertidumbre en la direc. y duración de tareas Complejidad mínimo uso
Cotrell (1999) PERT modificado	Requiere solo dos estimaciones de la duración de las actividades	Reducción del nro. de estimaciones de 3 a 2	Aplica solo distribución normal

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

La Tabla Nº 4, expone las técnicas que utilizan la programación CPM/PERT con Programación Lineal; si bien presentan bastantes ventajas al determinar el camino crítico de las actividades del proyecto y las respectivas holguras, del resto de las actividades; su principal desventaja reside en que falta calidad analítica de la red del proyecto y no considera costes, así como la gran incertidumbre en la duración de las actividades no críticas.

**Tabla Nº 4 – Limitaciones de la Programación CMP/PERT
Técnicas de Programación Lineal**

Tipos de Programación	Descripción/Requerimientos	Ventajas	Desventajas
Limitaciones de la programación CPM/PERT			
Técnicas de Programación Lineal			
Harmelink & Rowins (1998) Determinación Camino Crítico aplicando PL al Flotamiento u Holgura	Determina el flotamiento u holgura para control	Determina camino crítico Determina flotamiento para control de actvs. Actualiza el programa según el estado proyecto	Poca aplicación por falta de calidad analítica
Harmelink (2001) Aplicación Industria de la construcción	Descripción de las tasas de producción como elemento importante de la PL y la tasa de flotamiento u holgura es una aplicación de la PL	Considera la Producción Flotamiento es principal característica y se aplica a proyectos tipo lineal	Poca aplicación por falta de calidad analítica No considera costes
Yamín & Harmelink (2001) Comparación de Métodos Camino Crítico y CPM	Para ciertos proyectos, identifican atributos críticos necesarios para aplicar ámbos métodos	Ambos métodos se aplican a nivel de alta gerencia y de proyecto	Dificultad y complejidad en su aplicación Método C.Crítico decrece

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

En la Tabla Nº 5, se muestran las aplicaciones realizadas de CPM/PERT en donde se resuelve la programación de actividades con herramientas de simulación; acá se encuentra la mayoría de las variaciones aplicadas, como ser Algoritmos de Redes y Análisis Cíclico de las actividades del proyecto. Se ha encontrado que con estas herramientas, se alcanza mayor precisión en la determinación de la duración de las actividades, así como en la duración total del proyecto. Existen algunas desventajas destacables, como es la de ocupar gran cantidad de datos para trabajar la elección en la función de distribución de probabilidades (fdp) que representa la duración del proyecto.

**Tabla Nº 5 – Limitaciones de la Programación CPM/PERT
Técnicas de Simulación**

Tipos de Programación	Descripción/Requerimientos	Ventajas	Desventajas
Limitaciones de la programación CPM/PERT			
Técnicas de Simulación			
Senior (1995) Algoritmo de redes en operación cíclica CYCLONE	Algoritmo aplicado a la construcción con simulación de eventos discretos. Calcula tareas de tiempo más tardío y flotamiento u holgura	Apropiado en estimación de duraciones tipo deterministas	Problemas para modelar tareas repetitivas
AbouRizk & Gales (1997) - Modelo de simulación combinada	Involucra procesos aleatorios, usando el método c. crítico, combina un proceso continuo de variación	Efectivo cuando se agrega determinísticamente el atraso esperado a la duración del proyecto Mejor que m. Montecarlo con c. crítico o que sim. discreta en eventos.	No considera algunas variables tipo estocásticas (p.ej. retraso de las actvs.)
Senior & Halpin (1998) - Análisis Cíclico de Proyecto de un sistema serial de opera PICASSO	Fusiona las técnicas del c. crítico y de redes en operaciones cíclicas (Cyclone) Utiliza los recursos estadísticos y el flotamiento de las redes de actividades	Enfatiza la calidad de la información del proyecto	
Chehayeb & AbouRizk (1998) SIMCON	Aplican enlaces de producción continua de la a las actividades de un proyecto. Procedimiento basado en Cyclone.	Simplifica relaciones entre procesos cíclicos, estandariza técnicas para concatenar logicamente procesos de simulación, mejor estimación progreso del proyecto, entrega un modelo de flujo continuo y suave de programa del proyecto	
Shi (1999) - ABC-Sim	Modelo de simulación ABC, basado en actividad y aplica el método del c. crítico	Simple de usar, representa comportamiento dinámico y aleatorio de un proceso.	
Lu & AbouRizk (2000) - Simulación Estocástica de CPM/PERT	Consideran una derivación de PERT, que incorpora una aproximación discreta a actividades y método simplificado para identificarlas actividades críticas.	Provee a la administración una herramienta que evalúa alternativas o escenarios con el riesgo.	Con PERT/CPM clásico se ve incremento de duración actividades críticas y de la duración del proyecto
Maio et al (2000) - Estudio de sistemas de simulación	Determina necesidad de sistemas de simulación sean confiables La calidad está directamente relacionada a las fdp teóricas que representan las variables de entrada	Influencia de la elección del intervalo de clase en selección de fdp al utilizar el test Xi-cuadrado	Buena confiabilidad solo si utiliza gran set de datos
Hajjar & AbouRizk (2002) Nuevo enfoque para facilitar uso simulación	Usos difíciles de aplicar por la complicación del uso de softwares y la disposición de parte de la industria	Propone uso de enfoque integral - UML facilita la operac. softwares	Manejo de softwares

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

En la Tabla Nº 6, se muestra los avances realizados con la técnica del Fast-Track, que es una técnica donde se aplica la metodología de programación dinámica, basada en la dinámica del sistema, consiste en integrar elementos como GERT, Ingeniería Concurrente y conceptos de Diseño axiomático.

Tabla Nº 6 – Construcción Tipo Fast-Track

Tipos de Programación	Descripción/Requerimientos	Ventajas	Desventajas
Programación de Proyectos de Construcción tipo Fast-Track			
Peña-Mora & Park (2001) Peña-Mora & Li (2001)	Metodología de Planeación Dinámica Metodología Plan. Din. Y Control Integran Gert, Dis. Ax. E Ing. Concurr.	Ahorro en los tiempos Identifica var. Import.	> nivel de incertidumbre identificar proc. c/retroalim. ajustes de prog.

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

En la Tabla Nº 7, se resume las técnicas de optimización tiempo-coste de los programas de proyectos, en donde se destaca la incorporación de Algoritmos Genéticos como herramienta de apoyo en la programación.

Tabla Nº 7 – Optimización Tiempo-Costo

Tipos de Programación	Descripción/Requerimientos	Ventajas	Desventajas
Optimización Tiempo-Costo			
Shao (1996)	Modelo de Prog. Dinámica	Existe restric. de tiempo en func. de costes	aplicar Prog. Lineal o Entera
Lee y Yi (1999)	Aprox. Numérica basada en matrices de tiempo y costes		Deter. Costo y durac. Proy.
Karim & Adeli (1999)	CONSCOM-Modelo de Inf. Orientado a Objetos,	Seguimiento del progreso del proyecto y costes	Enfasis en los costes
Feng et al. (2000)	Técnica de simulac. C/Algoritmos Genéticos	Resuelve problema tiempo/coste c/incertid.	Constucción de carreteras
Que (2002)	Algoritmo Genético, uso de tiempos y optimización de costes	Incluye casi todos los parámetros de programac.	Modelar datos de tiempo y costes historicos costes cálculo muy grandes

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

Se incorporado algunos estudios destacables referente a la planificación de la construcción, ya que involucran aspectos de la gestión global de la programación de los proyectos. Dichos aportes se muestran en la Tabla Nº 8 adjunta.

Tabla Nº 8 – Planificación de la Construcción

Tipos de Programación	Descripción/Requerimientos	Ventajas	Desventajas
Planificación de la Construcción			
Faniran et al. (1998)	Marco para desarrollo de estrategias de planificación de la construc. Análisis de Regresión-Identifica Facs. Críticos	Considera: Tiempo de Planificación, Tiempo de Monitoreo y control de avance Y Des. Planes Operac.	No analiza el programa de duración de actividades propiamente tal.
Choo et al. (1999)	Programa de DB Desarrollo sitémico de planes de trabajo semanales	Pueden ser utilizados por capataces para asignar los recursos a las actvs. del proyecto	No analiza programa global énfasis en operación del proyecto

Fuente: Project scheduling and monitoring: current research status, Ahuja et al. (2004)

Una técnica importante de mencionar es la metodología de simulación cualitativa gráfica de eventos discretos, desarrollada por Ingalls et al. (2004), la que se considera adecuada para el uso de la técnica PERT cuando se tienen restricciones de recursos. El modelo representa todos los calendarios de programación de las actividades del proyecto posibles, y caracteriza todos los resultados posibles ante algún cambio en la duración de dichas actividades. Se puede utilizar para tomar decisiones correctas basadas en la programación de secuencias de eventos futuros, independientemente de cómo el azar puede afectar a la secuencia de eventos. Su principal desventaja, es que no considera las duraciones de las actividades como estocásticas, lo que significa no considerar la variabilidad. Harroelen (2005).

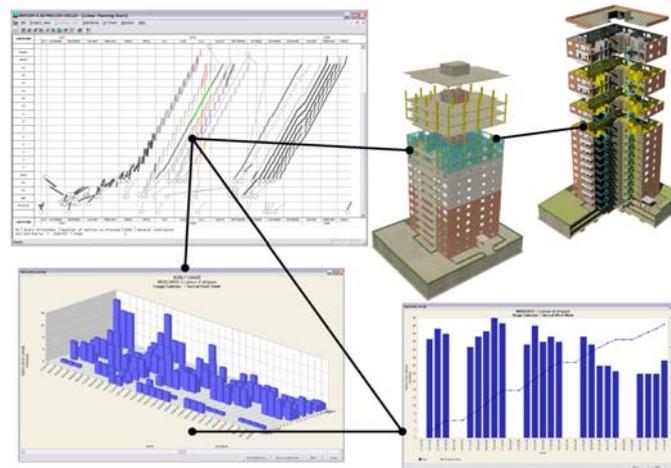
Azaron et al. (2006), desarrolla un modelo multi-objetivo para el problema de asignación de recursos en las redes PERT aplicando una fdp de forma exponencial o distribución Erlang, en la duración de la actividad, donde la duración media de cada actividad no es un aumento de la función y el costo directo de cada actividad es una disminución de la función de la cantidad de recursos asignados al mismo. Las variables de decisión del modelo son las cantidades de los recursos asignados. El problema es formulado como un problema multi-

objetivo de control óptimo que comprende cuatro funciones objetivo en conflicto. Las funciones objetivo son los costes totales directos del proyecto (para reducir al mínimo), la media del tiempo de terminación del proyecto (min), la diferencia de tiempo de Terminación del Proyecto (min), y la probabilidad de que el tiempo de terminación del proyecto no supera un cierto umbral (max). Este es un método que puede ser aplicado para la gestión y el control de los proyectos de naturaleza estocástica.

Jones (1988), propuso el uso de 3D como herramienta de apoyo a la programación de las duraciones de las actividades de un proyecto sobre las Cartas Gantt, para incorporar la asignación de trabajo realizado como apoyo al control de proyecto. Por otra parte, Kumar (2005), también realiza un trabajo en donde enfatiza el uso de la Carta Gantt, como apoyo en la programación de los proyectos de construcción, su planteamiento se basa en que; no de los retos más complejos que enfrentan los administradores de proyectos de hoy es controlar los costos y retrasos de la programación del proyecto. Una planificación de proyectos bien organizados y un sistema de control de costes es necesario. Un costo efectivo y sistema de control horario debe ser establecido con el fin de entregar los proyectos de construcción a tiempo y dentro del presupuesto.

Chantawit et al. (2005), a partir del análisis de que, los ingenieros de seguridad, deben convertir los planos de los proyectos de construcción de 2D a 3D como imágenes mentales para controlar los avances de los trabajos, con la consiguiente dificultad que esto presenta a un ser humano; propone 4DCAD-Security, un modelo que incorpora los elementos de la programación de las actividades de un proyecto a un esquema 3D. La propuesta se basa en lo necesario que es tener en cuenta la seguridad y la salud como un factor de éxito del proyecto junto a otros factores de éxito, tales como el tiempo, costes y de calidad y apoya su aplicación con las ventajas que presenta en términos de 1) que la representación del proyecto reduce la interpretación de diseño entre los miembros del proyecto, y 2) la comprensión de las secuencias de la construcción. El 4DCAD-security consta de cuatro componentes principales: Autocad®, Microsoft Project®, Base de datos de seguridad y 4DCAD-Interface. El AutoCAD es usado para la modelización y visualización de los objetos 3D que representan la condición física de un proyecto. Microsoft Project se utiliza para la programación de las actividades de construcción. Así, mediante la integración de la programación en los objetos 3D, se logra la tecnología 4DCAD. La base de datos se utiliza para almacenar la programación de proyectos exportados de Microsoft Project, la colección de la seguridad y la planificación de la seguridad del proyecto (ver Figura 1).

Figura 1 – 4DCAD-security



La incorporación de más inteligencia artificial a través del desarrollo de Algoritmos Genéticos (Genetics Algorithms – GA) y Redes Neuronales, ha sido un avance importante para programar la duración de las actividades en un proyecto de redes computacionales, elaborando un programa de simulador de red para generar instancias de tamaño grande Carretero (2006). La aplicación de GA, junto con un sistema de simulación flexible para apoyar la programación del trabajo en redes informáticas, entregó resultados muy prometedores, identificando un ajuste de los parámetros y los operadores.

Los resúmenes de varios autores, han dado una visión general del desarrollo del pasado y actuales en la literatura de programación de proyectos; éstos documentos se centran principalmente en el aspecto de modelación y desarrollo de algoritmos necesarios para planificar proyectos complejos. Un estudio de Vanhouchke et al. (2005), indica que una segunda área de publicaciones, a la que la investigación ha dedicado gran atención, se centra en la generación de datos de referencia para los diferentes procedimientos de solución. El realiza un esfuerzo para ajustar la diferencia entre la literatura de programación de proyectos y las necesidades de los administradores de proyectos, proponiendo un Juego de Programación de Proyectos (Programming Scheduler Game – PSG). Los directores de proyecto tienen que enfrentarse constantemente con la complejidad de la programación de un complejo problema de la vida real de una manera eficiente, cuando a menudo tienen poco conocimiento del estado de la técnica en el desarrollo de algoritmos. El juego ha sido desarrollado que sirve como una herramienta de formación para ayudar a los profesionales de ganar conocimiento en programación de proyectos. Se examina un PSG que simula la programación de la época conocida como problema del coste del trade-off. El juego ayuda a mostrar al director del proyecto la complejidad de la programación de un proyecto y crea un incentivo para confiar en procedimientos algorítmicos desarrollados por muchos investigadores en el campo.

2.- Descripción del modelo CPM/PERT de estimación de duraciones de las actividades

Según lo expuesto por Ishaque et al. (2009), la gestión de proyectos y enfoques tradicionales de ingeniería concurrente se remontan a la década de 1950 con el advenimiento del Método de ruta crítica (CPM) y el enfoque llamado Proyecto de Evaluación y Revisión Técnica (PERT), y por la revisión hecha de Elmaghraby en 1995, el primer artículo sobre los dos enfoques, comúnmente llamado CPM/PERT, apareció en 1959. Estas son esencialmente las técnicas de papel y de lápiz, que se han implementado como

herramientas de software de muchas organizaciones y personas, y han sido ampliamente utilizados por los profesionales desde su creación.

Las técnicas CPM/PERT son en cierto aspecto, un sistema limitado de gestión del proyecto o un problema de ingeniería de sistemas que se llama "la actividad de gestión del tiempo" en un análisis de redes de proyectos. Manteniendo la discusión de este problema y no ocupándose de otros aspectos, como por ejemplo: las limitaciones de recursos y tipos disponibilidad, las cuestiones financieras, la incertidumbre en la duración de la actividad y/o la disponibilidad de recursos, etc., en un contexto más general.

El CPM/PERT son redes (es decir, las técnicas de gráfico) que proporcionan una base analítica que sustentan al producto (gestión de proyectos – seguimiento de los problemas) al abordar el plazo más breve de término, las transacciones de tiempo, los costes, y las cuestiones de programación (es decir, las actividades críticas y las holguras de tiempo) para las actividades concurrentes deterministas y probabilistas. La red de representaciones o gráfico empleado por estos enfoques para el modelo de actividades del proyecto, y las limitaciones temporales entre ellos, también proporcionan ideas visuales sobre los aspectos temporales de un plan de proyecto.

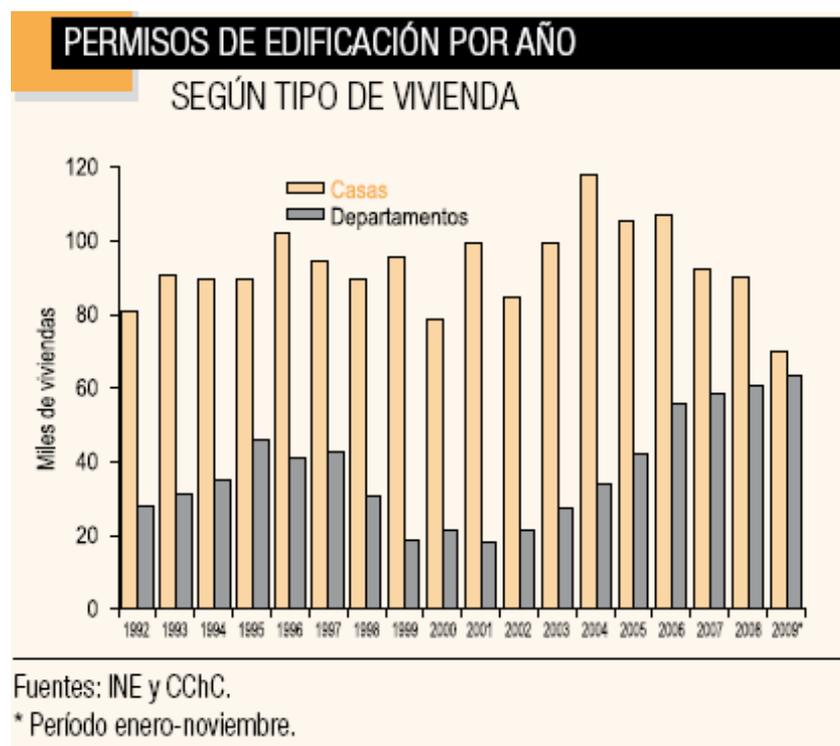
3.- Problemática

Una vez revisada la situación actual de la programación de la duración de las actividades de un proyecto, se concluye que dichas duraciones de las actividades, se establecen y programan sobre: 1) un valor determinístico, con datos promedios o basado en antecedentes históricos tomados por un patrón base, 2) un valor estocástico, con la misma base anterior, aplicando fdp conocidas o tradicionales como las fdp normal o gaussiana; o bien alguna de las fdp de las familias de tipo Erlang (incluye la distribución beta), 3) la aplicación de heurísticas que toman como base de conocimiento, valores tipos de la duración de las actividades. Así los resultados obtenidos, aplicando los diferentes métodos de programación de proyectos revisados, en cuanto a la duración total del proyecto programado, siempre presentan diferencias con la duración total del proyecto realizado y dichos proyectos, en su mayoría, exceden los costes presupuestados.

En Chile, la construcción de edificios no escapa a ésta realidad, encontrándose que aproximadamente el 90% de los proyectos de edificación, no cumplen con la duración total programada y el 80% de esos proyectos, exceden los costes presupuestados. Serpell (2003).

La Región de Coquimbo, pertenece a lo que se denomina el Norte Chico chileno; ésta región, es representativa de la ocurrencia nacional en cuando a las diferencias de tiempos y costes en el desarrollo de los proyectos de construcción, proyectos desarrollados tanto por el gobierno regional como por empresas privadas, esto debido al crecimiento económico y social sostenido que ha venido presentando la región.

Gráfico Nº 1 – Histórico de Permisos de Edificación en Chile



Fuente: Informe Mash 28, 2010

Uno de los pilares fundamentales de éste crecimiento, ha sido la industria turística de la zona, la que ha estado en constante crecimiento en las últimas décadas, específicamente en lo referente a construcción hotelera e inmobiliaria y dado el desarrollo urbanístico de la ciudad (ver Gráfico Nº 1), cuya tendencia es la construcción de edificios de altura, para cuyo fin se están realizando grandes inversiones en la conurbanación La Serena-Coquimbo (ver Tabla Nº 9, Sector Construcción).

Tabla Nº 9 - Ocupación por trimestres de sectores económicos en la Región de Coquimbo

Coquimbo:
Evolución de los Ocupados
Según Rama de actividad

(Variación en miles respecto de igual trimestre del año anterior)

Rama de actividad	2008		2009		
	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep	Oct-Dic
Total	6,5	-11,9	-5,5	3,9	19,4
Agricultura, Caza y Pesca	-0,5	-2,3	1,1	-2,5	5,3
Minas y Canteras	0,7	-3,4	-2,1	-2,3	-4,8
Industria Manufacturera	1,9	-1,1	0,7	2,6	2,8
Electricidad, Gas y Agua	0,0	0,3	0,0	0,5	-0,2
Construcción	5,4	-0,8	4,1	5,8	7,7
Comercio	0,6	-0,6	-2,8	-1,0	-2,7
Transporte, Almacenaje y Comunicaciones	-1,8	-1,1	-0,6	0,0	3,5
Servicios Financieros	-1,9	-3,4	-4,4	-2,3	-0,7
Servicios Comunales, Sociales y Personales	2,1	0,5	-1,6	3,0	8,7

Fuente: INE, Encuesta Nacional de Empleo

Por otra parte, las empresas constructoras que desarrollan éstos proyectos, ya sea por su cuenta o por un(os) inversionista(s), necesitan mejorar la precisión de la duración de sus proyectos, ya que esto significa llegar con los productos al mercado objetivo en los momentos más adecuados; es decir ofrecer al turista las viviendas y departamentos en los momentos en que se inicia la temporada estival, de la misma manera los inversionistas del sector hotelería, es ofrecer sus servicios al inicio de dichas temporadas estivales y así aprovechar el mejor precio de venta de sus productos; mejorando el flujo de caja del proyecto o ajustándose a lo presupuestado sobre la base de las proyecciones realizadas al momento de planificar y programar el proyecto.

En la actualidad esto no ocurre, debido a los desfases producidos en las duraciones reales de las actividades de los proyectos, con las duraciones programadas y los gastos realizados superan los presupuestados, principalmente por la extensión del proyecto; así como el desfase en el flujo de caja, producto de no realizar las ventas en los momentos peak de los precios; si no aceptar los precios de las temporadas medias y bajas. Si bien es cierto, muchas empresas (principalmente inmobiliarias), comienzan a vender en verde, éstas no siempre pueden entregar al cliente en la fecha programada, lo que hace que éstos desistan de la compra.

4.- Análisis y Conclusiones

Al termino del presente trabajo, y revisada la literatura, podemos decir que existen muchos métodos de programación de las duraciones de las actividades de un proyecto, los que principalmente se dividen en determinísticos y estocásticos. Los determinísticos, presentan la dificultad de no considerar la variabilidad propia (en términos matemáticos), que representan los cambios que pueden sufrir las duraciones de las actividades al realizarse físicamente. Así encontramos que el método PERT, incluye dicho efecto y si se le combina con CPM, se logra establecer una medida mas representativa de la realidad, ya que incluye la variable costo. Ahora bien, desde el punto de vista estadístico, en el tratamiento clásico de PERT, se consideran solo las fdp Beta y Normal, lo que no siempre son la representación de las duraciones de las actividades, esto conlleva a mostrar un error o bien a aumentar la desviación de la duración total del proyecto.

Otros métodos investigados, como lo son los GA, logran establecer una buena aproximación de lo programado a lo realizado en términos de duración de actividades, pero requiere de una gran base de datos que permita alimentar el sistema, base de datos que no siempre se encuentra disponible y se debe trabajar las heurísticas por separado para conocer el comportamiento de los presupuestos y costes. Long et al. (2009). También se considera que las técnicas graficas incipientes de representación 3D, son un importante apoyo a los métodos tradicionales; 4DCAD Security, hace una interesante aportación pero apuntando al manejo de la seguridad laboral y Russell et al. (2009)) utiliza CAD 3D una generalización de CPM tradicionales que abarca la programación lineal, tratamiento de la escala de trabajo en varios niveles de detalle, que trata de la variabilidad de diseño, y la representación realista de la obra.

En los métodos de calculo matemático propiamente tal, existen los métodos de PL y varias variantes, con muy buena precisión, son adecuados y exactos pero, estos métodos solo llegan a determinar valores dependiendo de las restricciones de las variables consideradas para dicho calculo, de las duraciones de las actividades y los presupuestos de los proyectos; pero al no considerar algunas variables tan importantes, en donde se desarrollara el proyecto, como son las: características geomorfológicas del terreno (encontrar irregularidades geológicas); condiciones inesperadas del comportamiento climático que son

variables medioambientales como: temperatura, humedad, precipitación, temporales, que el proyectista no tiene en cuenta, pueden ser causa de retrasos muy importantes, a la hora de determinar los rendimientos; disponibilidad de personal con la preparación técnica en la especialidad (capacitación), entre otras, hacen que se obtengan desviaciones de lo programado y presupuestado con lo real. Long et al. (2009).

Como desarrollo futuro, se considera el advenimiento de la realidad virtual - uso de técnicas gráficas computacionales en 3D - como elemento base de apoyo a la programación y control de los proyectos, esto soportado por el importante avance tecnológico en el desarrollo de procesadores gráficos de alto rendimiento y dispositivos de salida tipo emisión láser que permiten mostrar la imagen tridimensional a escala, en gabinete. Y si a esta tecnología se le agrega una metodología de manejo de bases de datos con los antecedentes que consideren la mejor representación de las variables que afectan las duraciones de las actividades de los proyectos, se podrá finalmente llegar a determinar en forma mas precisa los calendarios de términos de dichos proyectos. Russell et al. (2009).

En la Región de Coquimbo, se usan los métodos tradicionales de programación como son la Carta Gantt y en algunos casos se aplica CPM, tanto para programación de las actividades como para el presupuesto del proyecto, por lo que se considera necesario realizar un aporte para mejorar los rendimientos y el cumplimiento de las empresas con el desarrollo de los proyectos.

Teniendo presente el estudio realizado, se puede concluir que, para la región geográfica considerada, existe una brecha en el uso de las técnicas de programación tradicional de la duración de las actividades de un proyecto como la carta Gantt y la duración real de éstos. Así como también lo relativo a la programación del presupuesto con la técnica cpm y lo gastado en términos reales. Esta situación, generó una investigación que permita estudiar la programación de las duraciones de las actividades y total de los proyectos, aplicando CPM/PERT en términos estocásticos y con funciones de distribución de probabilidades no tradicionalmente utilizadas, como los son: distribución triangular, uniforme, log, etc. y que presenten un ajuste estadístico mas representativo de la realidad. También ésta metodología en estudio considera la combinación del uso de las técnicas de simulación y 3D como apoyo y/o complemento.

Bibliografía y Referencias

- Ahuja V. & Thieruveng A., Project scheduling and monitoring: current research status, *Construction Innovation*, 2004; 4: p. 19–31
- Azaron et al., A multi-objective resource allocation problem in PERT networks, *European Journal of Operational Research* 172 (2006); doi:10.1016/j.ejor.2004.11.018; p 838-854; Elsevier B.V.
- Capuz R., Salvador; Gómez-Senent M., Eliseo; Torrealba López, Álvaro; Ferrer Gisbert, Pablo; Vivancos Bono, José Luís; Gómez Navarro, Tomás; Dirección, *Gestión y Organización de Proyectos*; Cuadernos de Ingeniería de Proyectos III; Editorial UPV, España, 2002.
- Carretero, Use of Genetic Algorithms for Scheduling Jobs in Large Scale Grid Applications, *Ūkio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 2006, Vol. XII, No 1, p. 11-17
- Chantawit et al., 4DCAD-Safety: visualizing project scheduling and safety planning, *Construction Innovation*, 2005; 5: p. 99–114
- Herroelen W., Project Scheduling—Theory and Practice, *Production and Operations Management*; Vol. 14, No. 4, Winter 2005, p. 413–432
- Ingalls R. & Morrine D., Pert Scheduling with Resource Constraints Qualitative Simulation Graphs, *Project Management Journal*, Sep. 2004, p. 5-14

- Ishaque et al., Project Management Using Point Graphs, *Systems Engineering* Vol. 12, No. 1, 2009, p. 36-54
- Jones C., The Three Dimensional Chart Gantt, *Operations Research*, Vol. 36, N° 6, Nov-Dic 1988, p. 891-903
- Kumar P., Effective Use of Gantt Chart for Managing Large Scale Projects, *Cost Engineering* Vol. 47/No. 7 July 2005, p. 14-21
- Long L. & Ohsato A., A genetic algorithm-based method for scheduling repetitive construction projects, *Automation in Construction*, Vol. 18, 2009, p. 499–511
- Russell A. et al., Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD , *Automation in Construction*, Vol. 18, 2009, p. 219–236.
- Serpell A./Alarcón L. , *Planificación y Control de Proyectos*, 2003, 2da. Ed., Editorial Universidad Católica de Chile.
- Vanhoucke et al., The Project Scheduling Game (PSG): Simulating Time/Cost Trade-Offs in Projects, 2005 by the *Project Management Institute*, Vol. 36, No. 1, 51-59, ISSN 8756-9728/03
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas de Chile), *Informe Económico Regional 2009*, Octubre-Diciembre, 2009.
- CChC (Cámara Chilena de la Construcción). *Informe Mash 28, Macroeconomía y Construcción*, 2010