



DETERMINACIÓN DE VARIABLES CUALITATIVAS COMO FACTORES CLAVES EN LA PROGRAMACIÓN DE LOS PROYECTOS DE EDIFICIOS EN ALTIMA, REGIÓN COQUIMBO, CHILE

OSCAR CONTRERAS*, RONNIE KAUER

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis y se determina en términos cualitativos los factores claves que inciden en la adecuada programación de las duraciones de las actividades en los proyectos de construcción de edificios en altura en la ciudad de Coquimbo, Chile. El análisis profundiza el estudio y desarrollo del modelo estocástico pert/cpm modificado aplicado con antelación, del cual nace la búsqueda de explicaciones de las desviaciones obtenidas, encontrándose, variables del tipo cualitativas que influyen en el resultado de dichas desviaciones al realizar un proyecto de la envergadura del indicado. Estas variables cualitativas, se definen entonces como factores claves, proponiéndose un modelo para con su consideración en los mencionados proyectos de edificación.

ABSTRACT

In this paper, an analysis and determined in qualitative terms the key factors that affect the proper programming of the durations of activities in construction projects rise buildings in the city of Coquimbo, Chile. The analysis explores the study and development of the stochastic model pert/cpm applied modified in advance, from which springs the search for explanations of the deviations obtained, being among others, kind of qualitative variables that influence the outcome of these deviations, to conduct a project the size indicated. These qualitative variables are then defined as key factors in proposing a model for consideration in the said building projects.

Keywords: programación; proyectos; gestión; estocasticidad

MSC. ING. OSCAR CONTRERAS
Universidad de La Serena, Chile
ocontrer@userena.cl
ING. RONNIE KAUER
Universidad de La Serena, Chile
ronniekauer@gmail.com

*Autor para correspondencia: MSc. Ing. Oscar Contreras
Correo electrónico: ocontrer@userena.cl
Recibido: 9 de Junio del 2014
Aceptado: 4 de Mayo del 2015
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

A pesar de buscar con distintas técnicas numéricas mayor precisión en la programación y secuenciación de las actividades de un proyecto, como por ejemplo redes neuronales con respecto a lo realizado, aún persisten diferencias que presentan cierta importancia significativa a los dueños o inversionistas de los proyectos, sobre todo por la limitación de recursos [1].

En la Región de Coquimbo, una zona semi-desértica con un gran potencial de crecimiento y desarrollo de la urbanización en donde su cercanía a los centros mineros importantes de la Región de Atacama y Antofagasta, así como la tranquilidad, zona turística y moderado costo de vida con respecto a las zonas anteriormente indicadas sea un atractivo para que gran cantidad de personas opten por vivir y/o vacacionar en la zona ha generado un fuerte impulso en la industria de la construcción en los últimos años. En la Tabla 1 se puede apreciar por medio del indicador Inacor, que (con excepción de las regiones de Antofagasta y Aysén), es la región con mayor crecimiento a nivel nacional.



Tabla 2. PIB por Actividad Económica, Región de Coquimbo

Actividad	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 (1)
A gropecuario-Silvícola	94.502	91.948	103.860	97.345	104.383	103.934	101.345
Pesca	25.746	23.958	18.006	23.883	24.914	33.415	31.383
Minería	218.175	228.872	209.176	212.899	204.596	235.198	212.193
Industria Manufacturera	68.462	75.174	77.013	74.938	77.732	84.493	82.172
Electricidad, Gas y Agua	37.519	30.277	34.398	34.403	30.762	27.593	36.438
Construcción	101.242	113.494	137.883	148.258	193.427	229.331	185.964
Comercio, Restaurantes y Hoteles	105.362	116.706	124.680	131.287	139.128	149.83	147.181
Transporte y Comunicaciones	114.485	120.540	124.268	127.427	131.945	133.38	134.773
Servicios Financieros y Empresariales (2)	93.376	99.917	108.391	119.339	132.998	134.981	134.566
Propiedad de Vivienda	92.802	95.302	98.546	102.247	106.526	110.970	115.182
Servicios Personales (3)	171.512	181.390	190.487	201.638	206.031	216.566	220.848
Administración Pública	66.825	68.891	70.896	72.909	75.862	78.689	80.876
Menos: Imputaciones Bancarias	-20.429	-21.269	-25.403	-24.686	-28.754	-29.930	-30.206
Producto Interno Bruto	1.169.582	1.225.199	1.272.202	1.321.888	1.399.550	1.508.462	1.452.714

(1) Cifras provisionales.

(2) Incluye servicios financieros, seguros, arriendo de inmuebles y servicios prestados a empresas.

(3) Incluye educación y salud -pública y privada- y otros servicios.

Fuente: Banco Central de Chile, 2011

Tabla 1. INACOR, 2013
ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN REGIONAL
Agosto 2013 (Variación mensual, en %)

	Indicadores Parciales			INACOR
	Empleo Sectorial	Permisos de Edificación	Consumo de Cemento	
XV Arica y Parinacota	-36,6	-34,5	-23,8	-7,0
I Tarapacá	-1,4	-53,5	-6,6	-6,8
II Antofagasta	-7,4	-16,1	41,2	21,8
III Atacama	-0,8	-29,5	-12,7	-5,0
IV Coquimbo	-1,1	59,8	11,5	13,4
V Valparaíso	-13,5	66,9	9,1	4,6
VI O'Higgins	-3,0	-57,8	10,4	5,3
VII Maule	-0,5	68,7	-3,2	1,1
VIII Bío Bío	3,1	31,0	-11,0	-7,4
IX La Araucanía	19,9	50,8	4,1	12,7
XIV Los Ríos	-15,5	92,7	-34,8	0,5
X Los Lagos	12,8	27,6	-13,9	5,7
XI Aysén	17,2	75,3	-46,4	17,0
XII Magallanes	-8,0	-78,8	49,6	8,7
RM. Metropolitana	1,3	-39,2	8,6	4,1

Nota: Los crecimientos corresponden a las series en promedio móviles de tres meses desestacionalizadas.

Fuente: CChC en base a las estadísticas del INE e ICH.

En la Tabla 2 se muestra el PIB regional en donde se aprecia el crecimiento del rubro de la industria de la construcción en la zona.



Para subsanar en parte el desarrollo urbanístico en el borde costero, debido a la geografía circundante, no se inicia el desarrollo de la construcción de edificios en altura, los cuales superan los 18 – 20 pisos. Una de las problemáticas encontradas en la construcción de los edificios de altura en la región de Coquimbo es el manejo operacional de la programación de proyectos (6), la que con un 95% se realiza con cartas Gantt, en donde solo se considera la duración de las actividades en términos determinísticos. En estudios anteriores del mismo autor [2], se propuso un Modelo de Programación Pert/Cpm Modificado, el que incorporando el concepto de la estocasticidad, así como el manejo de tecnologías de la informática actuales, nos permitió acercarnos a mitigar esa diferencia entre lo real y lo programado. Como resultado se le entrega a los dueños del proyecto o inversionistas el concepto del riesgo y de la respectiva variabilidad a la que están expuestas las programaciones de las duraciones de las actividades y de los costos asociados del proyecto. Sin embargo, del análisis de los resultados, tanto de los modelos tradicionales como Carta Gantt, así como Pert/Cpm [3]; [4] y Pert/Cpm Modificado [2]. Según los resultados obtenidos, es claro que persisten diferencias significativas.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR K DE AJUSTE EN BASE A VARIABLES EXTERNAS

En la mayoría de los casos analizados en el ámbito de nuestro estudio, por no decir en su totalidad, no se alcanza el desarrollo de la obra con los tiempos y costes programados con los métodos de programación conocidos. Sólo con los métodos estocásticos se logra alcanzar valores entre 7% y 10% de precisión tanto en la duración como en los costos del proyecto.

De lo anterior es donde nos damos cuenta de que

existen variables externas en donde están expuestas las empresas constructoras lo que afectaría tanto en sus duraciones como en sus costos. Dichas variables son; condición de mercado del recurso humano, insumos o materia prima, así como también la condición climática de la región.

En el presente estudio proponemos determinar una función de ajuste K a ser aplicada a la programación de la duración de las actividades con el fin de buscar una mayor precisión entre las duraciones programadas y las duraciones reales; lo anterior basado en la proposición realizada en [2].

Por lo tanto se propone determinar la función:

$$K = f(c, t, i) \quad (1)$$

En donde:

K es el factor de ajuste a la programación de las duraciones

c es el porcentaje de variación de las condiciones climáticas a considerar en la región o localidad; t es el porcentaje de variación de la tasa de cambio de la moneda US\$, respecto a un año determinado; i es el porcentaje de crecimiento del desarrollo industrial regional o nacional, según sea el o los índices a considerar.

Para nuestro estudio se consideró que para la variable Condiciones Climáticas, lo más importante es la temperatura media y el porcentaje de humedad. Para la variable Desarrollo Industrial, consideramos el PIB base a precios del año 2008, así como la Tasa Regional de Desempleo. Finalmente para la variable Tasa de Cambio se tomó como referencia el año 2008.

Se trataron los datos en términos trimestrales desde el primer trimestre del año 2009 al segundo trimestre del año 2013. El resumen de los datos anteriormente indicados, se encuentran en la Tabla 3 siguiente.

Tabla 3. Resumen de Datos de Clima, Tasa de Cambio y Desarrollo Industrial

Año	Trimestre	T° MEDIA	% Humedad Relativa	Dólar (Ch\$)	Dólar (%)	Desempleo (miles pers)	Desempleo (%)	PIB nac (%)
2009	Dic - Feb	16,7	76,8	626,1	3,60%	21,5	8,00%	-2,87%
	Mar - May	14,1	83,7	580,6	-7,27%	21,2	8,17%	2,40%
	Jun - Ago	10,5	82,6	546,8	-5,82%	24,7	9,02%	1,39%
	Sept - Nov	12,7	77,7	534,2	-2,30%	21,2	7,57%	12,57%
2010	Dic - Feb	15,9	78,8	511,6	-4,24%	17,3	5,93%	-4,16%
	Mar - May	13,9	82,3	525,7	2,76%	27,6	9,17%	5,02%
	Jun - Ago	9,9	81,1	525,9	0,05%	24,1	7,58%	4,34%
	Sept - Nov	12,6	78,7	486,8	-7,44%	22,8	7,28%	9,64%
2011	Dic - Feb	16,5	76,3	480,0	-1,39%	26,7	8,38%	-2,27%
	Mar - May	13,7	79,9	472,9	-1,47%	27,2	8,36%	-1,44%
	Jun - Ago	10,5	81,9	466,4	-1,38%	24,6	7,45%	-0,47%
	Sept - Nov	12,7	80,0	501,3	7,49%	19,5	5,99%	10,60%
2012	Dic - Feb	17,3	75,5	500,0	-0,26%	23,2	6,69%	-3,02%
	Mar - May	14,7	79,7	489,5	-2,10%	19,6	5,73%	0,98%
	Jun - Ago	10,8	78,1	492,9	0,68%	19,5	5,83%	0,07%
	Sept - Nov	13,1	77,0	477,0	-3,22%	21,7	6,32%	10,26%
2013	Dic - Feb	17,5	76,8	474,1	-0,61%	19,1	5,70%	-4,16%
	Mar - May	13,7	78,5	474,7	0,15%	24,8	7,43%	-0,27%

Fuentes: Dirección Meteorológica de Chile, Banco Central de Chile e Instituto Nacional de Estadística de Chile. 2012

Realizando el estudio respectivo de estas variables, se determinan y se seleccionan y se propone la función K de ajuste. La cual queda de la siguiente forma:

$$K = f(tm, h, t, d, p) \quad (2)$$

En donde:

K es el factor de ajuste a la programación de las duraciones

tm es la temperatura media de la zona o región

h es el porcentaje de humedad relativa de la zona

t es el porcentaje de variación de la tasa de cambio de la moneda americana, respecto a un año determinado

d es el porcentaje de desempleo de la región

p es el porcentaje de crecimiento del PIB en la industria de la construcción

Con los datos de la Tabla 3 y los antecedentes de las desviaciones obtenidas en la duración de los proyectos más representativos de la conurbación Coquimbo-La Serena, se conforma un modelo de regresión lineal, como se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Principales Proyectos de Edificios en la Región de Coquimbo

edificio	Fecha Inicio	Fecha Término		duracion (dias)		diferencia	diferencia
	Real	programada	real	programada	real	(dias)	%
Edificio Altamar	dic-09	mar-11	abr-11	439	470	31	7,06
Brisas de San Joaquin	abr-12	oct-12	dic-12	153	233	80	52,29
Espacio Urbano II	may-12	mar-13	jul-13	214	310	96	44,86
Paseo San Carlos	may-12	ene-13	abr-13	180	230	50	27,78
Condominio Mistral III	feb-12	ene-13	may-13	260	331	71	27,31

Fuente: Elaboración Propia

En base al modelo propuesto, la función K quedaría definida de la siguiente forma [5]:

$$K = a_1 + a_2tm + a_3h + a_4t + a_5d + a_6i \quad (3)$$

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 y a_6 son los coeficientes de la función

En base a la disponibilidad de valores de desviación obtenidas de las duraciones de los proyectos, se considerará los antecedentes de las variables dependientes propuestas a partir del año 2011 en adelante. Por otra parte, al realizar una determinación como la propuesta, no se obtiene un resultado positivo, ya que se propuso hacer un modelo exponencial. Sin embargo al tener valores negativos en los datos, no es posible la linealización de la función. Entonces, para bajar la negatividad de los datos, éstos se manejan en términos cuadráticos y se prueba un modelo regresivo lineal múltiple, encontrándose con esto la respuesta esperada. Para todos los cálculos se utiliza el Complemento de Excel (MS™) Análisis de Datos.

En la Tabla 5 se muestra la matriz con los datos en términos cuadráticos considerada para el cálculo.

Tabla 5. Matriz de datos en términos cuadráticos

K	T	H	Tc	Ds	Pib
0,0049865	278,89	5894,82716	0,001296	0,00639357	0,00082369
0,0049865	199,751111	7000,11111	0,00528106	0,00668278	0,000576
0,0049865	110,25	6815,41975	0,00339296	0,00813817	0,00019321
0,0049865	160,444444	6032,11111	0,00052764	0,00573026	0,01580049
0,0049865	253,871111	6205,93827	0,00180072	0,00351735	0,00173056
0,0049865	192,284444	6778,77778	0,00075971	0,00841767	0,00252004
0,0049865	98,6711111	6579,01235	2,0846E-07	0,0057502	0,00188356
0,0049865	157,921111	6188,44444	0,00553905	0,00530545	0,00929296
0,0049865	271,151111	5826,77778	0,00019459	0,00701421	0,00051529
0,0049865	187,69	6382,23457	0,00021698	0,00699399	0,00020736
0,0049865	110,951111	6705,79012	0,00019009	0,0055491	0,00002209
0,0049865	160,444444	6400	0,000560299	0,00358604	0,01142761
0,0049865	300,444444	5701,06186	6,6222E-06	0,00447495	0,00091204
0,0049865	215,111111	6353,63267	0,000441	0,00328059	0,00009604
0,2734244	115,921111	6105,26586	4,6836E-05	0,00340302	0,00000049
0,201242	172,484444	5930,65603	0,00103818	0,00399167	0,01052676
0,0771728	306,25	5901,95912	3,7479E-05	0,0032456	0,00173056
0,0745836	188,604444	6164,43827	2,1186E-06	0,00552147	0,00000729

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resultados del ajuste

Resumen								
Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0,9484							
Coefficiente de determinación R ²	0,8995							
R ² ajustado	0,7738							
Error típico	0,0459							
Observaciones	10							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	5	0,0754	0,0151	7,157	0,0399			
Residuos	4	0,0084	0,0021					
Total	9	0,0838						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	2,232	0,599	3,728	0,020	0,570	3,893	0,570	3,893
Variable X 1	-0,0015	0,000	-4,328	0,012	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001
Variable X 2	-0,0003	0,000	-3,189	0,033	-0,001	0,000	-0,001	0,000
Variable X 3	-22,508	17,976	-1,252	0,279	-72,418	27,401	-72,418	27,401
Variable X 4	-24,655	11,194	-2,203	0,092	-55,733	6,424	-55,733	6,424
Variable X 5	2,803	6,949	0,403	0,707	-16,492	22,097	-16,492	22,097

Fuente: Elaboración propia

Sobre la base de los resultados obtenidos, se propone el modelo que determina el valor de K en términos cuadráticos y así obtener el valor de K final [6].

$$K^2 = a_1 + a_2tm^2 + a_3h^2 + a_4t^2 + a_5d^2 + a_6i^2 \quad (4)$$

$$K^2 = 2.232 - 0.0015tm^2 - 0.0003h^2 - 22.508t^2 - 24.655d^2 + 2.803i^2 \quad (5)$$

$$K = \sqrt{2.232 - 0.0015tm^2 - 0.0003h^2 - 22.508t^2 - 24.655d^2 + 2.803i^2} \quad (6)$$

De (6) y reemplazando los valores de la Tabla 5, se

obtiene:

$$K = 0.27 \quad (7)$$

Al obtener el valor K , interpretamos que a la programación de la duración de las actividades de un proyecto es necesario agregar un 27% para su proposición final. A modo de prueba, se consideró la programación de los proyectos en estudio, aplicando el Factor K . Los resultados se aprecian en la Tabla 7.

Tabla 7. Duraciones de las actividades de los proyectos, utilizando Factor K

N°	edificio	Fecha Inicio	Fecha Término		duracion (dias)		diferencia	diferencia	Programada	diferencia
		Real	programada	real	programada	real	(dias)	(%)	con K (dias)	con K (%)
1	Edificio Altamar	dic-09	mar-11	abr-11	439	470	31	7,06	557,5	15,70%
2	brisas de sn joaquin	may-12	oct-12	dic-12	153	233	80	52,29	194,3	-19,91%
3	Espacio Urbano II	may-12	mar-13	jul-13	214	310	96	44,86	271,8	-14,06%
4	Paseo San Carlos	may-12	ene-13	abr-13	180	230	50	27,78	228,6	-0,61%
5	Condominio Mistral III	feb-12	ene-13	may-13	260	331	71	27,31	330,2	-0,24%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados anteriores vistos en la Tabla 7, se desprende que si se hubiera considerado el Factor K en la programación de los proyectos considerados, las desviaciones claramente se hubieran visto reducidas de manera significativa, lo que habría significado reducir el impacto en los costos de las inversiones y las empresas, hubieran podido aprovechar mejor desde el punto de vista económico, las oportunidades del mercado, así como la posibilidad de poder ofrecer un precio más competitivo por sus productos.

4. CONCLUSIONES.

Una vez realizado los cálculos para la determinación del Factor K de ajuste a las duraciones de las actividades de un proyecto de construcción de un edificio en altura, podemos establecer que las variables consideradas inicialmente como cualitativas, se pueden manejar en términos cuantitativos.

Al utilizar el Factor K de ajuste se pudo dar cuenta que al tener presente la aplicación de dicho factor obtenemos una importante baja en el porcentaje de desviación de las duraciones. El efecto más notorio se observa en los dos últimos proyectos, en los cuales se obtiene solo una variación de un día. Esto nos lleva a pensar que las variaciones se presentan según las condiciones dadas o la evolución que tengan las variables incluidas en el modelo. De esta manera será posible bajar tanto la incerteza como la desviación de la duración de los proyectos, lo que traería consigo que los inversionistas colocaran sus productos al mercado en el momento que se necesiten; además de reducir los riesgos del incremento de los costos financieros asociados al financiamiento del proyecto [7].

Es muy posible que los ajustes a la programación de proyectos en cuanto a su duración sean explicados también por otras variables internas al proyecto. Las variables que desprenden del análisis de los resultados obtenidos del modelo, podrían ser expertos del programador, grado

de capacitación del personal del proyecto o que pueden existir otras variables externas que también incidan y que es importante considerar al momento de realizar un proyecto de estas características para llegar a su término con una desviación mínima, que es lo esperado por sus dueños o inversionistas.

Finalmente, para continuar con este estudio, se propone continuar buscando variables que incidan de forma interna o externa a los proyectos y su cuantificación, tanto en las duraciones como en los costos, utilizando herramientas tanto matemáticas como tecnológicas simples que puedan ser aplicadas por cualquier profesional del área.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) W. S. Herroelen. "Project Scheduling—Theory and Practice", *Production and Operations Management*; Vol. 14, No. 4, Winter 2005, p. 413–432.
- 2) O. Contreras G. "Aplicación y Análisis del Modelo Pert/Cpm Modificado, en la Programación de la Duración de las Actividades en la Construcción de Edificios en Altura en Coquimbo, Chile", *Iberoamerican Journal of Project Management*, Vol. 3, N°1, 2012.
- 3) M. Ishaque, A. K. Zaidi, A. H. Levis. "Project Management Using Point Graphs", *Systems Engineering*, Vol. 12, No. 1, 2009, p. 36–54.
- 4) S. Capuz, E. Gómez-Senent, A. Torrealba López; P. Ferrer Gisbert, J. L. Vivancos, T. Gómez. "Dirección, Gestión y Organización de Proyectos", *Cuadernos de Ingeniería de Proyectos III*; Editorial UPV, España, 2002.
- 5) N. Gujarati, Damodar, C. Porte Dawn. "Econometría", 2010, 5ta Ed., Editorial McGraw Hill, Cap. 6.
- 6) H. Kohler. "Estadística para negocios", 1996, 1ra Ed., Editorial CECSA, Cap. 13.
- 7) M. Vanhoucke, A. Vereecke, P. Gemmel. "The Project Scheduling Game (PSG): Simulating Time/Cost Trade-Offs in Projects", *The Project Management Institute*, 2005, Vol. 36, No. 1, 51-59, ISSN 8756-9728/03.
- 8) A. Serpell, L. Alarcón. "Planificación y Control de Proyectos", 2003, 2da. Ed., Editorial Universidad Católica de Chile.

