

Cálculo de la correlación entre la complejidad de proyectos, medida por su red de nodos y arcos, y su desempeño, medido utilizando el método de valor ganado

Correlation calculation between project complexity, measured by their arcs and nodes network, and project performance, measured using the earned value method

Hector J. Polo A.¹, Yarissa M. Palma²

¹ Dirección de Postgrado, Ingeniería de Proyectos, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

² Dirección de Gestión y Transferencia del Conocimiento, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: hjpoloa@gmail.com

RESUMEN– Se plantea la utilidad en la medición de la complejidad de un proyecto, y se realiza el análisis comparativo entre la complejidad de proyectos medida utilizando los cronogramas de obra y el desempeño de estos. Se explica la utilización de los nodos y arcos del cronograma de obra de un proyecto para evaluar su complejidad, adoptando la metodología y formulas propuestas por varios proponentes, produciendo sus respectivos índices de complejidad. A su vez se explica el sistema del valor ganado para medir el desempeño de un proyecto (índice de desempeño) y finalmente se realiza su comparación utilizando el coeficiente de correlación de Pearson.

Palabras clave– Complejidad de proyectos, valor ganado, índice de complejidad, índice de desempeño del cronograma.

ABSTRACT– The usefulness of measuring project complexity is raised, and a comparative analysis between a project's complexity, measured using the project schedules, vs a project's performance is provided. The use of nodes and arcs of the work schedule of a project to assess its complexity is explained, adopting the methodology and formulas proposed by several researchers, producing their respective complexity indexes. In turn, earned value method to measure the performance of a project (performance index) is explained and finally its comparison is made using the Pearson correlation coefficient.

Keywords - Project complexity, earned value, complexity index, schedule performance index.

1. Introducción

La definición de lo que es la complejidad de un proyecto aún no se logra consensuar [1-2]. Hay quienes lo definen como uno o una combinación de factores que afectan el resultado de un proyecto [3-2]. También lo definen como características de la complejidad misma [4]. Mientras que otros lo definen a través de un modelado de estos factores o aspectos [1] o basado en modelos de planificación (cronogramas) [2], [5].

2. Visión Holística

La complejidad de proyectos ha sido observada de manera holística en la mayor parte de la literatura disponible sobre la gestión de proyectos [1-4], [6], [11-

18]. En esta manera holística/cualitativa de ver la complejidad de proyectos es preciso sopesar o ponderar los factores cualitativos para tratar de cuantificar elementos que, de otra manera, serían muy difíciles de medir [2]. En estos casos, el investigador se ve en la difícil tarea de proponer un método estadístico que refleje el consenso y el aval de opiniones de varios profesionales [2], [6].

Dentro de estos elementos o factores se encuentran temas como: el análisis del cliente, estructura organizacional (roles, canales de comunicación, comunicación regular, la experiencia del equipo, la calidad de la toma de decisiones), resultado de arbitrajes, expectativas de los accionistas o involucrados, el tamaño del proyecto, las interdependencias del proyecto con el

Citación: H. Polo y Y. Palma, "Cálculo de la correlación entre la complejidad de proyectos, medida por su red de nodos y arcos, y su desempeño, medido utilizando el método de valor ganado", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, pp. (no modificar), 2020.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 21 de febrero de 2020. **Recibido con correcciones:** 19 de marzo de 2020. **Aceptado:** 13 de julio de 2020.

DOI.

Copyright: 2020 H. Polo y Y. Palma. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

ambiente, la interdependencia de los departamentos, la interdependencia de los sistemas de información, el contexto cultural, y la complejidad tecnológica, entre otras [2], [3]

El resultado de estos acercamientos son los diferentes métodos propuestos como lo son el método analítico por jerarquía [2] y la utilización del método Delphi [4]. Otros acercamientos se limitan al modelado como una herramienta de análisis dentro de los procesos administrativos [3], o proponen una cuantificación de procesos meta-proyectuales (más allá del análisis de un solo proyecto) [2], [6].

3. Visión de Modelado de Cronogramas

Una cantidad muy pequeña de la literatura relacionada con esta temática se centra en la obtención de un método de medición de la complejidad de proyectos [5], [7], [10], [19] basándose en modelos de los proyectos con información “concreta”. Estos métodos se basan generalmente en la teoría de grafos aplicada, y participan la mayoría de las veces los nodos, arcos, métodos gráficos de simplificación y, algunos de ellos, una combinación de lo anterior. Algunos métodos incluyen recursos, duraciones de las actividades y otros elementos que no son información de fácil acceso en todos los proyectos, y por ende de estos no se puede realizar una generalización aplicable [5].

La discusión que produce este método resulta en dos formas de definición de complejidad. Nassar y Hegab (2010) definen su método como la medición de la complejidad del cronograma del proyecto [7], o sea la medición de complejidad de un aspecto del total de la complejidad de un proyecto, mientras que Vidal et al. (2011) definen este método como mediciones del modelo de la estructura del proyecto representada como un grafo [2], [8]. Ninguno percibe este acercamiento como algo que logre definir la complejidad de un proyecto en su totalidad.

Aquí es donde la definición de un proyecto y de complejidad deben ayudar a definir justamente el alcance de esta métodos y mediciones. Al no haber un consenso de este, se presente la siguiente síntesis para obtener una definición base de esta investigación:

1. Un proyecto se define, según el PMBOK, como el esfuerzo que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único, y tiene la característica de ser

temporal. No es ni el producto, servicio o resultado único por lo cual se hacen estos esfuerzos [9].

2. “Un sistema es un objeto, que, en un ambiente dado, intenta alcanzar un objetivo (aspecto teleológico) al realizar una actividad (aspecto funcional) mientras su estructura interna (aspecto ontológico) evoluciona con el tiempo (aspecto genético) sin perder su identidad” [2].

3. Y que “la complejidad de un proyecto es la propiedad de un proyecto que hace difícil comprender, prever y mantener en control su comportamiento general, aun cuando se haya dado información razonablemente completa sobre el sistema del proyecto” [2].

Tomando en cuenta estos 3 conceptos, se aprecia la utilidad del modelado de un cronograma de obra que abarca los siguientes elementos:

1. Se establece la estructura del proyecto (aspecto ontológico)

2. Se establece el objetivo final, incluso objetivos parciales (aspecto teleológico)

3. Se modela los esfuerzos por medio de actividades (aspecto funcional)

4. Se modela su evolución con el tiempo (aspecto genético)

5. Sus elementos están interrelacionados para tener secuencia, unidad, e identidad.

6. Contiene, si está bien realizado, la principal y mayor cantidad de información necesaria para poder administrar un proyecto.

De lo anterior, se considera que medir la complejidad de un cronograma es lo más cercano a medir, por definición, la complejidad de un proyecto.

Otros elementos externos serían meta-proyectuales o multi-proyectuales (más de un proyecto), y aunque son útiles, no serán fundamento de esta investigación.

4. La necesidad de la comparación con el desempeño de los proyectos

Una comparación entre la medición de la complejidad del cronograma, pero basándose en la morfología del proyecto vs el desempeño y/o la probabilidad de que un proyecto se atrasase fue propuesto por Nassar [7], incluso en términos predictivos. Sin embargo, a la fecha no se ha realizado este estudio. Esta investigación no usa la morfología como base, si no su estructura relacional para compararlo con el desempeño del proyecto.

En este caso, se piensa utilizar, como variable de comparación, los índices resultantes del análisis de valor

ganado, definido como el coeficiente entre el valor esperado (planificado) de un proyecto en un momento en el tiempo, y su valor ganado real (valor real/valor planificado) [9]. El método del valor ganado de los proyectos es una metodología ampliamente utilizada por la administración de proyectos y sugerida por el Instituto de Administración de Proyectos (PMI) [9]. El índice del desempeño del proyecto, o SPI por sus siglas en inglés es el que será utilizado en este comparativo.

Sin embargo, como nota aclaratoria, para tener un comparativo que haga una correlación entre los índices de complejidad desarrollados y el desempeño de los proyectos, hay que tomar en cuenta lo difícil, con la documentación actual, que es evaluar si la complejidad definida en estos métodos realmente describe la complejidad total de un proyecto, aun si fueran estos métodos preferibles en esta investigación. El determinar la complejidad de un proyecto como un factor determinante en la ejecución de un proyecto no se pone en duda. Sin embargo, la literatura actual se dedica a encontrar un método utilizable basado en los cronogramas mas no hace la comparación de estos métodos o índices propuestos con el desempeño de proyectos para así tener una estadística que permita observar esta relación. Es posible que el resultado de este estudio al final resulte en que ambas variables no tengan correlación alguna.

5. Metodología

Como primer ejercicio de la investigación, se logró procesar 9 cronogramas de obra de una empresa estatal, con su respectiva información de costo para lograr obtener las variables requeridas en el análisis. Los nombres de los proyectos se han reemplazado por una nomenclatura secuencial para proteger la confidencialidad de estos. Esta información se puede apreciar en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Datos de Campo - Cronogramas de Obra – Parte 1

ID del Proyecto	Inicio de Línea Base	Final de Línea Base	Fecha Final Planificada	Fecha de Corte
60001	1-Nov-11	30-Nov-12	10-Jun-13	Nov-12
60002	4-Aug-11	4-Oct-12	17-Oct-12	Oct-12
60003	31-May-11	11-Sep-12	15-Oct-12	Sep-12
60004	1-Jul-11	30-Apr-13	8-Aug-13	Apr-13
60005	3-Oct-11	17-Aug-12	29-Nov-12	Aug-12
60006	4-May-09	31-Jul-12	5-Sep-12	Jul-12

60007	1-Nov-11	12-Nov-12	16-Aug-13	Nov-12
60009	24-Oct-11	26-Oct-12	28-Nov-12	Nov-12
60013	1-Nov-11	14-Dec-12	16-Dec-13	1-Dec-12

Tabla 2. Datos de Campo - Cronogramas de Obra - Parte 2

Valor a Completar de la LB	Valor Actual a la fecha Final del BL	Valor a Completar Actual	% del Costo Total
527,185.00	405,805.00	535,420.74	75.79%
771,199.92	705,146.50	739,170.57	95.40%
3,297,066.31	325,226.31	3,311,327.36	9.82%
484,455.00	280,958.16	298,355.40	94.17%
381,000.00	285,047.97	285,047.97	100.00%
494,663.40	420,824.69	420,824.69	100.00%
658,224.50	525,306.62	716,820.60	73.28%
\$1,551,528.00	1,500,488.00	1,592,471.00	94.22%
\$526,460.00	375,542.00	454,087.00	82.70%

Luego se obtuvieron las variables SPI y los Ci (índices de complejidad del proyecto) utilizando la fórmula de Pascoe [5] y la de Nassar y Hegab[5], que se pueden apreciar en las fórmulas 1 y 2 presentadas a continuación:

La fórmula de medición de complejidad de un proyecto por Pascoe es la siguiente:

$$C_i = a/n \tag{1}$$

Donde:

Ci = índice de complejidad

a = número de arcos del cronograma

n = número de nodos del cronograma

La desarrollada por Nassar y Hegab es:

$$C_n = \begin{cases} \left\{ \frac{\text{Log}\left[\frac{a}{n^2-1}\right]}{\text{Log}\left[\frac{a}{n^2-1}\right]} \right\} \% \text{ si } n \text{ es impar} \\ \left\{ \frac{\text{Log}\left[\frac{a}{n^2}\right]}{\text{Log}\left[\frac{a}{n^2-1}\right]} \right\} \% \text{ si } n \text{ es par} \end{cases} \tag{2}$$

Donde:

Cn = Ci = índice de complejidad

a = número de arcos del cronograma

n = número de nodos del cronograma

Tabla 3. Variables - SPI, Ci Pascoe, Ci NH

ID del Proyecto	SPI % del costo actual	Ci Pascoe Índice de Complejidad 1 - Pascoe 1966	Ci NH Índice de Complejidad 2, Nassar, Hegab, 2006
60001	75.79%	1.09	3.34%
60002	95.40%	1.1	6.86%
60003	9.82%	1.33	20.03%
60004	94.17%	1.2	10.26%
60005	100.00%	1.17	8.64%
60006	100%	0.91	0.00%
60007	73.28%	1.13	14.01%
60009	94.22%	1.08	12.30%
60013	82.70%	1.08	14.09%

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos luego de la aplicación de la fórmula No. 1 de Pascoe y la fórmula No. 2 de Nassar y Hegab.

Luego se procedió a realizar el análisis de correlación de Pearson utilizando la siguiente fórmula 3, y aplicándola solo a los resultados obtenidos utilizando la fórmula 1 de Pascoe.

$$r = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (3)$$

Donde:

- N = número de pares de datos
- $\sum xy$ = sum de los productos de los datos pareados
- $\sum x$ = suma de los datos de x
- $\sum y$ = suma de los datos de y
- $\sum x^2$ = suma de las raíces de los datos x
- $\sum y^2$ = suma de las raíces de los datos y

Tabla 4. Variables de Correlación de Pearson - Ci Pascoe vs SPI

ID del Proyecto	SPI % del costo actual	Ci Pascoe Índice de Complejidad 1 - Pascoe 1966	Pearson de Pascoe (método Manual)		
			b- promedio (b)	a X b	b^2
60001	75.79%	1.09	-0.03	0.0015538	0.10%
60002	95.40%	1.1	-0.02	-0.0035529	0.06%
60003	9.82%	1.33	0.2	-0.1449780	4.20%
60004	94.17%	1.2	0.08	0.0112582	0.69%
60005	100.00 %	1.17	0.05	0.0090224	0.22%
60006	100%	0.91	-0.21	-0.0409506	4.46%
60007	73.28%	1.13	0.01	-0.0009636	0.02%
60009	94.22%	1.08	-0.04	-0.0058915	0.19%
60013	82.70%	1.08	-0.04	-0.0007749	0.14%
promedio	80.60%	1.12	suma	-0.1752769	10.057 5837 %

La tabla 4 muestra las variables que fueron aplicadas a la fórmula no. 3 para obtener finalmente el resultado de la correlación de Pearson aplicada al índice de complejidad de Pascoe (fórmula 1).

6. Resultados

El resultado de la correlación dio **-0.689132888** dando una clara, con los pocos datos actuales, una correlación negativa que quiere decir que mientras más complejo el proyecto, menor el desempeño. Luego de hacer este ejercicio “manual” para obtener esta correlación utilizando Microsoft Excel, se procedió a comparar el resultado con el obtenido al utilizar la función de correlación de la aplicación. El resultado fue idéntico: **-0.689132888**.

Debido a que el resultado da igual, probando que ambos métodos, “manual” vs “función de la aplicación”, dan lo mismo, se procedió a obtener el resultado de la correlación utilizando la fórmula de Nassar y Hegab. El resultado fue muy similar con una correlación negativa de: **-0.675758918**

7. Conclusiones

Dado que, utilizando ambas fórmulas de Ci, la de Pascoe y la de Nassar/Hegab, dan resultados similares, podríamos concluir preliminarmente hasta que se consiga más información de campo, que efectivamente existe una correlación negativa entre la complejidad de un proyecto y su desempeño, o sea, a mayor complejidad, menor desempeño.

También podríamos concluir que ambos métodos para obtener el Ci de un proyecto por el momento son viables, siendo la de Pascoe una fórmula muy sencilla e intuitiva de comprender, mientras que por contraste la de Nassar y Hegab, siendo un poco más compleja, igual nos da resultados confiables. También es importante resaltar que la fórmula de Nassar y Hegab atienden problemas de redundancia [10] de las relaciones en los cronogramas de obra, mientras que la de Pascoe no lo hace.

REFERENCIAS

- [1] Vidal, Ludovic-Alexandre, Marle, Franck, Bocquet, Jean-Claude. “Modelling Project Complexity,” ICED’07/515, 2007.
- [2] Vidal, Ludovic-Alexandre, Marle, Franck, Bocquet, Jean-Claude. “Measuring Project Complexity using the Analytic Hierarchy Process,” International Journal of Project Management 29 pp.718–727, 2011

- [3] Wood, Hannah Louise, Ashton, Philip. "Modelling Project Complexity," Procs 26th Annual ARCOM Conference, pp.1111-1120, September 2010
- [4] Xia, Bo & Chan, Albert. "Measuring Complexity for Building Projects—A Delphi Study," Engineering, Construction and Architectural Management Vol. 19 No. 1, pp. 7-24, 2012
- [5] Nassar, Khaled M., Hegab, Mohamed Y. "Developing a Complexity Measure for Project Schedules," Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132, No. 6, June 2006.
- [6] Akilesawaran, V, Hazez, G.B., Morin, T.L. "Complexity of the Project Sequencing Problem," Operations Research August 1983
- [7] Nassar, Khaled. "Schedule Network complexity vs Project complexity," Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (2010).
- [8] Trudeau, Richard J. *Introduction to Graph Theory*. Dover Publications Inc., New York, 1993 2ed.
- [9] *Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Project Management Institute. Newtown Square, Pa., 2008, 4th Ed.
- [10] Bashir, H. A. "Removal of Redundant Relationships in an AON Project Network for Evaluating Schedule Complexity," Journal of Construction Engineering and Management © ASCE pp.787 -793, July 2010.
- [11] Weaver, Patrick. "Scheduling in the Age of Complexity," PMI COS Proceeding, 2009.
- [12] Wood, Hannah Louise, Ashton, Philip. "The Factors of Project Complexity," 18th CIB World Building Congress. Salford, UK., 2010
- [13] Castejón-Limas, Manuel, Ordieres-Meré, Joaquín, González-Marcos, Ana, González-Castro, Víctor. "Effort estimates through project complexity," Springer Science+Business Media, LLC [Online]. Available: www.researchgate.net/publication/220461783_Effort_estimates_through_project_complexity [Jul. 16, 2010].
- [14] Henriksen, JO "Taming the Complexity Dragon," Winter Simulation Conference – Titans of Simulation, 2006.
- [15] Svetlana Cicmil, Terry Cooke-Davies, Lynn Crawford, and Kurt Richardson. *Exploring the Complexity of Projects*. Project Management Institute. Newtown Square, Pa, Kindle Edition, 2009.
- [16] Obolensky, Nick. *Leading Complex Projects*. ICCPM. Kindle Ed., 2013.
- [17] Terry, Cooke-Davies. *Aspects of Complexity: Managing Projects in a Complex World*. Project Management Institute. Newtown Square, Pa. Kindle Ed., 2011
- [18] Cavanagh, Michael. *Project Complexity Assessment*. ICCPM. Kindle Ed., 2013.
- [19] Boushaala, Amer A. "Project Complexity Indices based on Topology Features," World Academy of Science, Engineering and Technology 69, pp. 49-54, 2010.