

01-021

MANAGING PROJECT COMPLEXITY. CONTRIBUTIONS FROM SYSTEMS THINKING

Pajares, Javier (1); Acebes, Fernando (1); Poza, David (1); Martín-Cruz, Natalia (1); Lopez-Paredes, Adolfo (1)

(1) INSISOC- Universidad de Valladolid

In this paper, we explore how the principles, axioms and tools of Systems Thinking can be used to manage project complexity. Systems Thinking, and in particular, System Dynamics and Organizational Cybernetics, have proved to be effective in managing complex socio-economic systems. It has also been used in project management, usually proposing system dynamics models to study the pernicious effects of certain decisions made by stakeholders or the management team. We think that there is scope for further contributions. Our ultimate goal is to develop conceptual analogies and models to help project managers make decisions, both at the strategic and operational levels, with implications for project planning and control. As an example, we explain an example for project planning under uncertainty. Inspired by the importance that systems thinking gives to the interactions between parts of the system, we study, through Monte Carlo simulation, the implications of interrelations between project activities. The main conclusion is that the interrelationship affects the cruciality, and therefore, those activities over which the project manager should pay tighter control.

Keywords: Project complexity; systems thinking; system dynamics; complex project management.

GESTIÓN DE LA COMPLEJIDAD EN PROYECTOS. APORTACIONES DESDE EL PENSAMIENTO SISTÉMICO

En este artículo exploramos en qué medida los principios, axiomas y herramientas del pensamiento sistémico pueden ayudarnos a gestionar la complejidad de los proyectos. El Pensamiento Sistémico y en concreto, la Dinámica de Sistemas y la Cibernética Organizacional, han mostrado su efectividad para gestionar sistemas socioeconómicos complejos. También se ha utilizado en dirección de proyectos, generalmente proponiendo modelos de dinámica de sistemas que permitan estudiar los efectos perniciosos de ciertas decisiones de los stakeholders o del equipo directivo. Estimamos que existe margen para muchas más posibles aportaciones. Nuestro objetivo último es desarrollar analogías conceptuales y modelos que ayuden a los directores de proyectos a tomar decisiones, tanto a nivel de estratégico como operativo, con implicaciones en la planificación y control de proyectos. Como ejemplo, describimos un caso de aplicación a la planificación de proyectos bajo incertidumbre. Inspirados en la importancia que el pensamiento sistémico otorga a las interacciones entre partes del sistema, estudiamos mediante simulación de Montecarlo, que implicaciones tiene el que las actividades de un proyecto estén interrelacionadas. La conclusión principal es que la interrelación afecta a la crucialidad, y por lo tanto, a aquellas actividades sobre las que la dirección de proyecto debe ejercer más control

Palabras clave: Complejidad de proyectos; pensamiento sistémico; dinámica de sistemas; gestión de proyectos complejos.

Correspondencia: Javier Pajares Gutiérrez. Correo: pajares@eii.uva.es

Agradecimientos: Este trabajo se ha financiado parcialmente por la Junta de Castilla y León y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) con subvención de referencia VA180P20.



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En este artículo exploramos en qué medida las contribuciones del pensamiento sistémico nos pueden ayudar a gestionar la complejidad de los proyectos.

El pensamiento sistémico (*Systems Thinking*) se ha aplicado con éxito para gestionar sistemas complejos en áreas tan distintas como la ecología (Davis & Stroink, 2016), gestión sostenible (Williams et al., 2017), o problemas de salud pública (Carey et al., 2015). También se ha utilizado en el ámbito de la gestión y organización empresarial (Monat et al., 2020) o la investigación operativa (Mingers & White, 2010), etc. En definitiva, se trata de una disciplina que, debido a sus axiomas y herramientas, permite abordar con éxito el análisis y gestión de los sistemas complejos.

Por otra parte, saber gestionar la complejidad de un proyecto es un elemento clave para su éxito (Bosch-Rekvelde et al. (2018) y Kermanshachi et al. (2016)). Debido a los cambios tecnológicos y socioeconómicos, la complejidad de los proyectos ha ido aumentando en las últimas décadas (Joseph, 2017), y es lógico pensar que vaya a seguir aumentando, sobre todo en proyectos tecnológicos y en los nuevos proyectos de la Industria 4.0 o de la revolución digital, que se caracterizan por un alto grado de complejidad multidimensional (Pajares et al., 2017). Todo parece indicar que la complejidad está aumentando a “mayor velocidad” que el desarrollo de metodologías en dirección de proyectos, lo que explicaría que en las últimas décadas, el éxito en los proyectos no haya aumentado significativamente, tal como recogen distintos informes (ver por ejemplo, Hastie & Wojewoda (2015); The Standish Group (1995); Durdyev (2020) o Huo et al., (2018)).

Pensamos que, por su enfoque, planteamientos axiomáticos y herramientas empleadas, muchas de las ideas y metodologías del pensamiento sistémico pueden ser adaptadas para ayudarnos a gestionar la complejidad de los proyectos. La literatura que liga pensamiento sistémico y dirección de proyectos no es nueva (Yeo (1993), Rodrigues & Williams (1998), Sterman (2002) y Wardito et al. (2021)). En muchos trabajos, se analizan proyectos ya finalizados, identificando las variables más relevantes, y proponiendo modelos de dinámica de sistemas que incluyen bucles de realimentación no lineales, que suelen ser los culpables de resultados no deseados y no previstos (dos ejemplos son los trabajos de Lyneis & Ford (2007) o Cyrus et al. (2018)). Precisamente, una de las contribuciones más relevantes del pensamiento sistémico y de la dinámica de sistemas a la dirección de proyectos, haya sido caracterizar este tipo de fenómenos sistémicos no lineales ante decisiones tomadas por el equipo de dirección de proyectos, o cambios solicitados por el cliente.

Estimamos que existen aún muchas más posibles aportaciones del pensamiento sistémico en general, y de la dinámica de sistemas y cibernética organizacional en particular, a la dirección de proyectos.

Nuestro objetivo último es desarrollar analogías conceptuales y modelos que ayuden a los directores de proyectos a tomar decisiones, tanto a nivel de estrategia de proyecto como a nivel operativo, es decir, sobre las variables habituales utilizadas para planificar y controlar proyectos.

Como muestra, en esta comunicación explicamos un primer ejemplo extremadamente sencillo, pero que nos permite ver la forma de proceder y las posibilidades del enfoque que proponemos. El pensamiento sistémico pone su énfasis en las interacciones entre las partes de un sistema. Si consideramos un proyecto como sistema, sus actividades pueden ser consideradas como partes integrantes. Esto nos lleva a poner el foco en cómo se producen interacciones entre actividades y en cómo sucesos externos condicionan dichas interacciones. Por ello, en esta comunicación, mostramos un ejemplo de gestión de riesgos utilizando simulación de Montecarlo. El resultado obtenido es que la existencia de correlaciones entre las duraciones de las actividades puede alterar de forma relevante su crucialidad (correlación entre la duración de la actividad y la del proyecto), aunque no se vea

alterada su criticidad (probabilidad de pertenecer al camino crítico). Esto implica que, ante la sospecha de interrelación entre actividades, el equipo de dirección de proyecto debe focalizar sus esfuerzos por reducir la variabilidad de unas actividades distintas a las que vigilaría sin existir dicha interrelación.

El resto del artículo se articula de la siguiente manera: en el apartado 2 hacemos un breve repaso de los conceptos fundamentales del pensamiento sistémico. En el apartado 3 resumimos brevemente la literatura que une pensamiento sistémico y dirección de proyectos, con objeto de tener una idea del estado actual del tema. En el 4 explicamos el ejemplo concreto de gestión de riesgos, abordando primeramente el marco conceptual del razonamiento y describiendo un ejemplo de aplicación concreto utilizando simulación de Montecarlo. Finalizamos con las conclusiones más importantes.

2. Conceptos fundamentales de pensamiento sistémico.

El pensamiento sistémico proporciona una aproximación holística al análisis de los sistemas, que se centra en estudiar cómo interaccionan las partes constituyentes del sistema, y cómo se relacionan con el contexto y con los sistemas de orden superior a los que el sistema de estudio pertenece. A diferencia de otros enfoques analíticos (en parte reduccionistas) que tratan de descomponer el sistema en sus partes para analizarlas separadamente, el enfoque sistémico intenta ver las relaciones e interacciones entre las partes. En cierto sentido, el enfoque sistémico consiste en *mirar con un ojo los árboles y con el otro, el bosque* (Richmond, 1994).

El enfoque sistémico se ha aplicado a numerosos problemas y disciplinas, por lo que es difícil encontrar definiciones y planteamientos únicos. No obstante, sintetizando la literatura sobre el tema (entre otros, Harris (1990); Senge (1997); Sweeney y Sterman (2000); Kopainsky et al. (2011); Jackson (2016); Arnold y Wade, (2015)), pueden encontrarse elementos comunes:

- Prestar especial atención a las interrelaciones entre los elementos de un sistema.
- Comprender cómo el comportamiento de un sistema surge de la interacción de sus agentes a lo largo del tiempo.
- Existencia de fenómenos emergentes: propiedades del sistema en su conjunto que no se derivan de las propiedades de sus componentes.
- Identificar procesos de retroalimentación (positivos y negativos) que subyacen en el comportamiento del sistema.
- Identificar no linealidades.
- Reconocer retrasos y su impacto en el funcionamiento del sistema.
- Reconocer y superar los límites impuestos por los “modelos mentales”.
- Identificar relaciones de stock y de flujo.
- Creación de modelos de simulación.
- Visión holística, que incorpore múltiples perspectivas.
- La estructura condiciona la evolución del sistema.

Después de revisar los que consideran 30 libros más relevantes dentro de la disciplina, Monat y Gannon (2015) sugieren que, detrás del concepto de pensamiento sistémico, tenemos que considerar:

- Un esquema que concibe los sistemas como un conjunto de componentes necesarios que están interrelacionados, siendo estas interrelaciones al menos tan importantes como los componentes.
- Un lenguaje, que incluye elementos como el modelo Iceberg, bucles causales, emergencia, dinámica de sistemas, etc.
- Un conjunto de herramientas: arquetipos, bucles causales con retroalimentación y retardos, diagramas de stock y flujo, modelado mediante ordenador, etc.

El enfoque sistémico permite focalizarnos en factores sociales y humanos, así como sus interrelaciones con factores técnicos, y acepta como inherente a todo sistema la incertidumbre y la complejidad.

3. Pensamiento sistémico en dirección de proyectos.

La literatura sobre pensamiento sistémico en dirección de proyectos no es nueva. La posibilidad de explorar los principios del Pensamiento Sistémico, Dinámica de Sistemas y Cibernética Organizacional ha sido considerada por investigadores como Yeo (1993), Rodrigues y Williams (1998) y muchos otros. Sterman (2002) sostiene que los proyectos deben ser considerados como sistemas dinámicos complejos porque: contienen múltiples componentes interdependientes; son muy dinámicos, incluyen procesos de realimentación múltiples, y relaciones no lineales; e involucran datos “*soft*” y “*hard*”. Kapsali (2011) indica que el pensamiento sistémico puede complementar los métodos tradicionales de dirección de proyectos, pues permiten integrar distintos niveles de análisis, integrar complejidad, interrelaciones, efectos causales circulares, incertidumbre y fenómenos emergentes.

Gran parte de las contribuciones del pensamiento sistémico a la dirección de proyectos se han particularizado en la Dinámica de Sistemas, disciplina introducida por Forrester (1961) como una metodología de modelado del comportamiento de sistemas sociales complejos. Ha sido ampliamente utilizada en el modelado y análisis de sistemas sociales, económicos y tecnológicos, en los que la existencia de procesos de retroalimentación es esencial para comprender la evolución del sistema.

Williams et al. (2003) proponen utilizar modelos de Dinámica de Sistemas para modelar bucles de realimentación causal en proyectos, Williams (2005) sugiere que la disciplina puede ayudar a gestionar comportamientos no-lineales en proyectos. Lyneis & Ford (2007) muestran cómo modelar efectos “dominó” perversos producidos por un excesivo control en los proyectos. Love et al. (2002) utilizan dinámica de sistemas para modelar los efectos de las órdenes de cambio y los efectos de tener que repetir trabajo debido a errores de ejecución.

Wardito et al. (2021) revisan 25 artículos publicados durante el periodo 2000-2020 que incluyen modelos de Dinámica de Sistemas para gestión de riesgos en proyectos de construcción. Resaltan que la Dinámica de Sistemas permite incluir en los modelos riesgos derivados de los comportamientos humanos, relaciones con las partes interesadas y bucles de realimentación.

También los principios de cibernética organizacional, y en concreto, el Modelo de Sistemas Viables VSM (Beer, 1984), y sus extensiones como las propuestas de Perez-Rios (2012) y Ríos (2010) pueden aplicarse a la gestión de proyectos software ((Ríos, 2009) y Regaliza (2014)) o a megaproyectos (Britton & Parker (1993), Murad & Cavana (2012)). Ruiz-Martin et al. (2017) relacionan el modelo VSM con la resiliencia organizacional.

El pensamiento sistémico permite enfoques alternativos a la dirección de proyectos clásica, que tiende a ver el proyecto “como una isla”, con “fronteras estáticas y conocidas”, de forma

que no se presta atención suficiente entre conexiones e interrelaciones con el entorno (Kapsali, 2011). En cierta medida, la dirección de proyectos se centra en herramientas de planificación aplicables a actividades operativas más predecibles, imitando la forma en que la gestión de operaciones controla los procesos de producción convencionales, en parte basada en la planificación de situaciones conocidas, al menos probabilísticamente (Turner (2000), Lamers (2002)).

Por tanto, entendemos que el enfoque sistémico puede complementar la visión clásica de la dirección de proyectos, basada en muchos casos en la descomposición del problema en partes más pequeñas, independientes y fácilmente resolubles: por eso, los libros de dirección de proyectos están repletos de estructuras de desagregación: EDT, EDO, etc. (Pajares et al., 2021).

Muchos de los trabajos citados en este apartado y otros similares se han centrado en diseñar modelos de dinámica de sistemas, a nivel agregado de proyecto, que relacionan variables agregadas, integrando bucles e interdependencias basados en el análisis *post-mortem* de un conjunto de proyectos. Pensamos que existe margen para formular modelos que aborden aspectos operativos más tangibles, de forma que ayuden a los directores de proyectos a tomar decisiones ante información y situaciones concretas.

4. Ejemplo de aplicación: pensamiento sistémico en la gestión de riesgos de proyectos.

Para mostrar cómo el enfoque sistémico puede aportar luz a diferentes aspectos de la dirección de proyectos, vamos a describir una primera línea de trabajo, en la que abordamos asuntos relacionados con la programación y la gestión de riesgos de proyectos.

La gestión de riesgos y su integración con las herramientas de monitorización y control de proyectos ha sido una línea de investigación preferente dentro del grupo INSISOC. Trabajos como Pajares & López-Paredes (2011), Acebes et al. (2014), Acebes et al., (2015) o Acebes et al., (2021) suponen contribuciones metodológicas que ayudan a los directores y directoras de proyectos a tomar decisiones bajo incertidumbre, alertando sobre qué actividades deben vigilarse con mayor intensidad, obtener programaciones que gocen de menor riesgo, o distribuir buffers basándose en planteamientos racionales.

La mayoría de los métodos de programación de proyectos (CPM, PERT, etc.) consideran que las distribuciones de probabilidad de las actividades son independientes. En muchos casos, esta restricción / hipótesis puede ser asumible. Sin embargo, la adopción del enfoque sistémico nos ha permitido fijar nuestra atención en las interacciones entre los distintos elementos del sistema, así como en las interrelaciones entre el sistema y los sistemas superiores a los que pertenece. Entendiendo un proyecto como un conjunto de actividades, nos preguntamos por las interrelaciones entre las actividades, así como por la interrelación entre los sucesos del entorno y su influencia en conjuntos de actividades.

Reflexionar en términos de sistemas nos llevado a reflexionar sobre qué interrelaciones existen, qué las causa y cómo modelarlas. Una primera indagación nos ha permitido intuir correlaciones entre actividades, debido a:

- Riesgos externos que afectan a varias actividades, por ejemplo, condiciones meteorológicas que retrasan o permiten reducir el tiempo de ejecución de varias actividades.
- Cambios de diseño y peticiones de cambio de clientes que implican rehacer el trabajo en varias actividades.
- Actividades sensibles al “efecto aprendizaje”. La experiencia y el conocimiento adquirido en una actividad puede hacer que los equipos sean más eficientes en otro conjunto de actividades. Esto puede ser especialmente relevante en actividades de

investigación y desarrollo, en las que un trabajo excelente en las primeras fases del proyecto puede implicar ahorros de tiempo relevantes en actividades posteriores, al utilizar los desarrollos tecnológicos previos.

- Similar a lo anterior, puede haber un conjunto de actividades que requiere cierta pericia de un mismo equipo de trabajo. Si el equipo es “excelente”, todas las actividades se realizarán en menos tiempo que si no lo son. Al comienzo del proyecto, no podemos aventurar su rendimiento, pero sí que sabemos que este afectará al desarrollo de varias actividades.
- Procedimientos exigidos por la organización funcional que afecten a las actividades de varios proyectos.
- Puede haber actividades con correlación negativa. Por ejemplo, en un proyecto concreto, puede ocurrir que cuanto más tiempo se emplee en labores de diseño, menos tiempo se necesite en la fase de fabricación.

Ya, a finales del pasado siglo, Van Dorp y Duffey (1999) comentaban que la interdependencia y correlación entre actividades no debía despreciarse, pues podría tener consecuencias muy relevantes a la hora de tomar decisiones de programación de proyectos bajo incertidumbre. Sin embargo, estos autores destacaban la dificultad de incorporarlas a los modelos utilizando los paquetes de software existentes en la época. Ahora, el software comercial como @Risk o CrystalBall permite incorporar correlaciones entre distintas variables aleatorias de forma sencilla; por tanto, es posible introducir fácilmente el concepto de correlación en los modelos de programación de proyectos.

Como muestra de que no deben despreciarse las correlaciones entre actividades, mostramos un ejemplo simple que nos permite poner de relieve que la existencia de correlaciones entre las duraciones de las actividades puede afectar de forma muy relevante las decisiones que debe tomar el equipo de gestión del proyecto.

Hemos tratado de que el ejemplo sea lo más sencillo posible, de forma que los resultados sean “casi evidentes” desde el punto de vista conceptual. Nos interesa ver cómo se comportan ante distintas situaciones indicadores estadísticos que afectan a la forma de las distribuciones, así como índices como criticidad o crucialidad. De esta forma, entendemos que los resultados pueden ser extrapolables a proyectos más complicados, de forma que los directores y directoras de proyectos puedan tomar decisiones dependiendo de los valores de estos coeficientes.

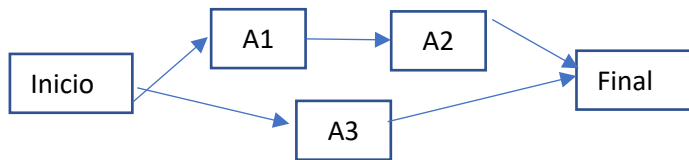
4.1 Influencia de las correlaciones entre actividades.

Consideremos la red que se muestra en la figura 1, en donde, por simplicidad, la duración de todas las actividades sigue distribuciones normales con las medias y varianzas indicadas. La topografía de la red y los valores de las distribuciones se han diseñado para crear “riqueza” de posibilidades de caminos críticos manteniendo al máximo la simplicidad. En condiciones de certeza, la duración del proyecto sería de 8,5 unidades de tiempo, y el camino crítico vendría dado por el tramo A1-A2.

Hemos utilizado el software @Risk de Palisade que permite realizar simulación de Montecarlo utilizando hojas de cálculo Excel. Para cada simulación, hemos realizado 10.000 iteraciones, que llevan menos de 30 segundos con la potencia de los ordenadores actuales. En la tabla 1 presentamos los resultados de distintos escenarios. El primero se corresponde con la situación ampliamente abordada en la literatura de programación de proyectos bajo incertidumbre, en la que las actividades son estadísticamente independientes ($\rho(A_i, A_j)=0$; $i, j=1, 2, 3$). En los siguientes, se simulan escenarios con correlaciones de 0,80 entre dos de las actividades ($\rho(A_i, A_j)=0,80$), y un caso final, donde el valor de la correlación entre cada una de las actividades del proyecto toma el valor de 0,5 ($\rho(A_i, A_j)=0,5$ $i, j=1, 2, 3$). Los valores de correlación se han exagerado precisamente para poner de relieve los efectos en los indicadores habituales de gestión de riesgos, como los estadísticos que describen las

distribuciones de probabilidad de la duración total, o índices como criticidad (CRI) y crucialidad (CRU)

Figura 1. Actividades, definición estadística y relación de precedencias de las actividades del proyecto



Actividad	Precedentes	Media	Varianza
A1	--	3	0,5
A2	A1	5,5	1
A3	--	8	0,5

Nótese que, conceptualmente, tiene distinto significado la correlación entre A1 y A2 del resto de correlaciones, pues ésta es una correlación entre actividades del mismo camino, mientras que las correlaciones A1-A3 y A2-A3 son correlaciones entre actividades pertenecientes a caminos distintos.

Tabla 1. Resultados de los escenarios simulados

	$\rho(A_i, A_j)=0$		$\rho(A_1, A_2)=0,8$		$\rho(A_1, A_3)=0,8$		$\rho(A_2, A_3)=0,8$		$\rho(A_i, A_j)=0,8$	
media	8,78		8,89		8,72		8,64		8,74	
varianza	0,70		1,04		0,77		0,88		1,09	
percentil 90	9,94		10,33		9,92		9,93		10,18	
percentil 50	8,65		8,67		8,60		8,53		8,56	
percentil 25	8,19		8,15		8,08		7,95		7,97	
	CRI	CRU	CRI	CRU	CRI	CRU	CRI	CRU	CRI	CRU
A1	0,66	0,41	0,63	0,81	0,69	0,53	0,73	0,38	0,68	0,73
A2	0,66	0,79	0,63	0,86	0,69	0,77	0,73	0,89	0,68	0,89
A3	0,35	0,19	0,38	0,19	0,32	0,48	0,28	0,76	0,33	0,64

En el caso de no existir correlaciones (primera columna de la tabla 1), observamos que la media de la distribución de salida es de 8,78, ligeramente superior a las 8,5 unidades temporales, que sería la duración en condiciones de certeza. Esto es habitual en las simulaciones de Montecarlo, que nos alertan de que el resultado de certeza de la metodología del Camino Crítico suele ser muy optimista. Podemos observar que el percentil 90 se alcanza

para valores de 9,94, es decir, existe una probabilidad del 90% de que el proyecto termine con una duración igual o menor que 9,94.

A la hora de tomar decisiones en la gestión del proyecto, es habitual observar la criticidad y crucialidad de las actividades. La criticidad (Martin, 1965) mide la probabilidad de que una actividad forme parte del camino crítico, mientras que la crucialidad (Williams, 1992) nos da idea de la correlación entre la duración de una actividad y la duración total del proyecto. Williams (1993) sostiene que ambos índices deben ser utilizados conjuntamente pues la criticidad solo habla de probabilidades de pertenencia al camino crítico, lo que no implica necesariamente que el retraso de la actividad tenga un gran impacto en el desarrollo final de proyectos. Por ello, la dirección de proyecto debería prestar atención a las actividades con mayor criticidad con objeto de reducir su duración, mientras que merece la pena esforzarse por reducir la variabilidad de actividades con mayor crucialidad. Actividades a la vez críticas y cruciales deben ser seguidas con especial atención. Esto no implica que no se realice un control del resto de las actividades, simplemente que el equipo de dirección del proyecto debe focalizar sus esfuerzos en reducir, en su caso, su duración o variabilidad.

En el ejemplo, las actividades más críticas son la A1 y A2, ambas con criticidad de 0,66, al ser ambas actividades en serie, mientras que la actividad más crucial sería la A2, con un valor de 0,79. Por tanto, si se quiere terminar el proyecto según programación, es necesario prestar una atención especial a A2, intentando reducir tanto su duración como su variabilidad (o al menos que no aumenten).

Si consideramos ahora las simulaciones con correlaciones entre actividades, extraemos las siguientes conclusiones:

- La media de las duraciones del proyecto no se ve significativamente alterada debido a que existan correlaciones entre las duraciones de las actividades.
- No es así el caso de la varianza que aumenta cuando existe correlación, sobre todo cuando ésta se produce entre actividades del mismo camino (A1-A2). En otras palabras, la existencia de correlaciones positivas hace que la duración final del proyecto sea más incierta.
- Los valores de criticidad de las actividades no se ven muy influenciados por la existencia de correlación: A1 y A2 son en todos los casos las actividades con más criticidad, muy superior a la de A3. Esto significa que la dirección de proyecto debe vigilar y, en su caso, tratar de reducir, la duración de estas actividades.
- Sin embargo, la existencia de correlaciones puede afectar de forma decisiva a los valores de crucialidad. En el escenario en el que no existe correlación, solo la actividad A2 tiene un valor elevado de crucialidad, siendo A1 la siguiente en orden de magnitud. Pero cuando existe correlación, los valores no solo se pueden ver alterados, sino que actividades que sin correlación no eran cruciales, pueden pasar a serlo. Así:
 - Cuando existe correlación A1-A2, la actividad A1, que no era crucial (valor de 0,41 sin correlación) pasa a ser muy crucial (0,81) con una crucialidad muy similar a A2. Es decir, la presencia de correlaciones entre actividades del mismo camino provoca que actividades del camino que no eran cruciales pasen a serlo. En este caso, ahora la dirección del proyecto debería prestar igual atención a las actividades A1 y A2, tanto para tratar de reducir su duración como para intentar reducir su variabilidad.
 - La existencia de correlaciones entre actividades pertenecientes a distintos caminos también altera el mapa de crucialidades. La correlación entre A2 y A3, por ejemplo, provoca que esta última se vuelva altamente crucial. Aunque las criticidades no hayan cambiado excesivamente, la actividad A3 que no era crucial pasa a serlo. Esto significa que si existe correlación A2-A3,

la dirección del proyecto debería vigilar la variabilidad de A3, aunque no sea una actividad muy crítica.

- El tercer escenario considerado, en el que existen correlaciones entre todas las actividades, muestra nuevamente que la correlación provoca aumentos en la crucialidad de todas las actividades.

La conclusión general es que la existencia de correlaciones entre las actividades puede variar la duración y variabilidad del proyecto y sobre todo, la crucialidad de las actividades. Esto significa que, si el equipo de dirección de proyecto intuye que puede haber correlaciones entre actividades, incluso sin saber qué valor toman exactamente, debe prestar atención, no solo a las actividades más críticas, sino que también debe tratar de reducir la variabilidad de todas las actividades en las que se intuye correlación, pues pueden ser mucho más cruciales de lo que se puede desprender de un análisis de Montecarlo clásico, en el que no se consideran dichas correlaciones.

5. Conclusiones.

En este trabajo hemos mostrado cómo la utilización de los conceptos y herramientas del pensamiento sistémico pueden ayudarnos desarrollar enfoques, metodologías y herramientas que nos ayuden a mejorar la gestión de la complejidad en los proyectos. Se trata de concebir un proyecto como un sistema complejo, e ir haciendo un recorrido por los principios y herramientas sistémicas con objeto de encontrar similitudes, campos de aplicación y en su caso, contribuciones metodológicas para facilitar la toma de decisiones.

Como muestra de las posibilidades hemos descrito un ejemplo muy simple, pero que muestra cómo aplicar los razonamientos del pensamiento sistémico nos conducen a explorar las interrelaciones entre las actividades de un proyecto, y ver cómo la presencia de correlación entre las mismas altera sus valores de crucialidad y en consecuencia, puede cambiar las decisiones que toma el equipo de dirección.

Centrándonos en el desarrollo particular recogido en este artículo, los resultados obtenidos deben corroborarse y ampliarse utilizando proyectos con redes más complejas, y con distintas topografías, para ver cómo las correlaciones pueden afectar los indicadores de sensibilidad.

Y más allá del caso particular, los siguientes pasos están encaminados a estudiar y desarrollar modelos de dinámica de sistemas, e integrarlos con las decisiones operativas y estratégicas que habitualmente toman los equipos de gestión del proyecto. Otra línea de trabajo nos conduce a analizar proyectos ya finalizados o en ejecución, tratando de identificar arquetipos sistémicos, e integrar estos arquetipos en los modelos.

Referencias

- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014). A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. *International Journal of Project Management*, 32(3). <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.08.003>
- Acebes, F., Poza, D., González-Varona, J. M., Pajares, J., & López-Paredes, A. (2021). On the project risk baseline: Integrating aleatory uncertainty into project scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107537. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107537>
- Acebes, Fernando, Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2015). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1597–1609. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2015.06.012>
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44(C). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>

- Beer, S. (1984). The viable system model: Its provenance, development, methodology and pathology. *Journal of the Operational Research Society*, 35(1), 7–25. <https://doi.org/10.1057/jors.1984.2>
- Bosch-Rekvelde, M., Bakker, H., & Hertogh, M. (2018). *Comparing Project Complexity across Different Industry Sectors*. <https://doi.org/10.1155/2018/3246508>
- Britton, G. A., & Parker, J. (1993). An explication of the viable system model for project management. *Systems Practice*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/BF01059678>
- Carey, G., Malbon, E., Carey, N., Joyce, A., Crammond, B., & Carey, A. (2015). Systems science and systems thinking for public health: A systematic review of the field. In *BMJ Open* (Vol. 5, Issue 12). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-009002>
- Cyrus, K. M., Aloini, D., & Karimzadeh, S. (2018). *How to Disable Mortal Loops of Enterprise Resource Planning (ERP) Implementation: A System Dynamics Analysis*. <https://doi.org/10.3390/systems6010003>
- Davis, A. C., & Stroink, M. L. (2016). The Relationship between Systems Thinking and the New Ecological Paradigm. *Systems Research and Behavioral Science*, 33(4). <https://doi.org/10.1002/sres.2371>
- Durdyev, S. (2020). Review of construction journals on causes of project cost overruns. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(4). <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2020-0137>
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. M.I.T. Press.
- Harris, S. G. (1990). The Fifth Discipline & the Art & Practice of Learning. *Human Resource Management*, 29(3).
- Hastie, S., & Wojewoda, S. (2015). Standish Group 2015 Chaos Report. *InfoQ*.
- Huo, T., Ren, H., Cai, W., Shen, G. Q., Liu, B., Zhu, M., & Wu, H. (2018). Measurement and Dependence Analysis of Cost Overruns in Megatransport Infrastructure Projects: Case Study in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001444](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001444)
- Jackson, M. C. (2016). *Systems thinking. Creative holism for managers*. John Wiley & Sons Ltd.
- Joseph, N. (2017). Conceptualising a multidimensional model of information communication and technology project complexity. *SA Journal of Information Management*, 19(1), 1–14. <https://doi.org/10.4102/sajim.v19i1.825>
- Kapsali, M. (2011). Systems thinking in innovation project management: A match that works. *International Journal of Project Management*, 29(4). <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.01.003>
- Kermanshachi, S., Dao, B., Shane, J., & Anderson, S. (2016). An Empirical Study into Identifying Project Complexity Management Strategies. *Procedia Engineering*, 145, 603–610. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.04.050>
- Kopainsky, B., Alessi, S. M., & Davidsen, P. I. (2011). Measuring Knowledge Acquisition in Dynamic Decision Making Tasks. *The 29th International Conference of the System Dynamics Society, August 2015*.
- Lamers, M. (2002). Do you manage a project, or what? A reply to “Do you manage work, deliverables or resources”, *International Journal of Project Management*, April 2000. *International Journal of Project Management*, 20(4), 325–329. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00053-3](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00053-3)
- Love, P. E. D., Holt, G. D., Shen, L. Y., Li, H., & Irani, Z. (2002). Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems. *International Journal of Project Management*, 20(6), 425–436. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00039-4](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00039-4)
- Lyneis, J. M., & Ford, D. N. (2007). System dynamics applied to project management: a survey, assessment, and directions for future research. *System Dynamics Review*, 23(3), 157–189. <https://doi.org/10.1002/sdr>
- Martin, J. J. (1965). Distribution of the Time Through a Directed, Acyclic Network. *Operations Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1287/opre.13.1.46>

- Mingers, J., & White, L. (2010). A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. *European Journal of Operational Research*, 207(3), 1147–1161. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2009.12.019>
- Monat, J., Amisshah, M., & Gannon, T. (2020). Practical applications of systems thinking to business. *Systems*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/systems8020014>
- Monat, J. P., & Gannon, T. F. (2015). What is Systems Thinking? A Review of Selected Literature Plus Recommendations. *American Journal of Systems Science*, 4(1).
- Murad, R. S. A., & Cavana, R. Y. (2012). Applying the viable system model to ICT project management. *International Journal of Applied Systemic Studies*, 4(3). <https://doi.org/10.1504/IJASS.2012.051131>
- Pajares J., Lopez-Paredes A., Acebes F., Poza D., M.-C. N. (2021). Teaching systems thinking to deal with complexity in Project Management. *WoSC 2021. Systems Approach and Cybernetics, Engaging the Future of Mankind Book of Abstracts 18. Congress-World Organisation of Systems and Cybernetics*.
- Pajares, J., & López-Paredes, A. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(5). <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.04.005>
- Pajares, Javier, Poza, D., Villafañez, F., & López-Paredes, A. (2017). Project Management Methodologies in the Fourth Technological Revolution. In *Advances in Management Engineering* (pp. 121–144). Springer.
- Perez-Rios, J. (2012). *Design and Diagnosis for Sustainable Organizations: The Viable System Method*. Springer Science & Business Media.
- Regaliza, J. C. P. (2014). Extending the viable system model scope on ICT-sector software projects in Castilla y León. *Kybernetes*, 43(2). <https://doi.org/10.1108/K-09-2013-0199>
- Richmond, B. (1994). Systems thinking/system dynamics: Let's just get on with it. *System Dynamics Review*, 10(2–3). <https://doi.org/10.1002/sdr.4260100204>
- Ríos, J. M. P. (2009). *Proyecto software y cibernética organizacional: validación empírica del modelo de Sistemas Viables sobre proyectos software del sector TIC en Castilla y León*. University of Valladolid.
- Ríos, J. P. (2010). Models of organizational cybernetics for diagnosis and design. *Kybernetes*, 39(9), 1529–1550. <https://doi.org/10.1108/03684921011081150>
- Rodrigues, A. G., & Williams, T. M. (1998). System dynamics in project management: Assessing the impacts of client behaviour on project performance. *Journal of the Operational Research Society*, 49(1), 2–15. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600490>
- Ruiz-Martin, C., Rios, J. M. P., Wainer, G., Pajares, J., Hernández, C., & López-Paredes, A. (2017). The Application of the Viable System Model to Enhance Organizational Resilience. In *Lecture Notes in Management and Industrial Engineering* (pp. 95–107). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55889-9_5
- Senge, P. m. (1997). The fifth discipline. In *Measuring Business Excellence* (Vol. 1, Issue 3). <https://doi.org/10.1108/eb025496>
- Sterman, J. (2002). System dynamics modeling for project management. In *Projects and profits, Vol. II, pp. 46-50*.
- Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: Initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16(4). <https://doi.org/10.1002/sdr.198>
- The Standish Group. (1995). The standish group report. *Chaos*, 49. <https://doi.org/10.1145/1145287.1145301>
- Turner, J. R. (2000). Do you manage work, deliverables or resources? *International Journal of Project Management*, 18(2), 83–84. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00059-9)
- Van Dorp, J. R., & Duffey, M. R. (1999). Statistical dependence in risk analysis for project networks using Monte Carlo methods. *International Journal of Production Economics*, 58(1), 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00081-4)
- Wardito, E., Purba, H. H., & Purba, A. (2021). System dynamic modeling of risk management in construction projects: A systematic literature review. In *Operational Research in*

- Engineering Sciences: Theory and Applications* (Vol. 4, Issue 1). Regional Association for Security and crisis management. <https://doi.org/10.31181/oresta2040101w>
- Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., & Whiteman, G. (2017). Systems thinking: A review of sustainability management research. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 148). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.002>
- Williams, T. (2005). Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(4), 497–508.
- Williams, T., Ackermann, F., & Eden, C. (2003). Structuring a delay and disruption claim: An application of cause-mapping and system dynamics. *European Journal of Operational Research*, 148(1), 192–204. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00372-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00372-7)
- Williams, T. M. (1992). Criticality in Stochastic Networks. *The Journal of the Operational Research Society*, 43(4). <https://doi.org/10.2307/2583158>
- Williams, T. M. (1993). What is critical?., . *International Journal of Project Management*, 11(4), 197–200.
- Yeo, K. T. (1993). Systems thinking and project management - time to reunite. *International Journal of Project Management*, 11(2), 111–117. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(93\)90019-J](https://doi.org/10.1016/0263-7863(93)90019-J)

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

