



Incorporación del modelo Lean Construction para innovar la gestión del tiempo en proyectos de construcción

Incorporation of the Lean Construction model to innovate time management in construction projects

Margarita Murillo Manrique, Junior Llerena Carhuas

RECIBIDO: 02 de mayo de 2024.

ACEPTADO: 15 de junio de 2024.

Resumen

En la industria de la construcción se busca que la productividad mejore innovando la gestión del tiempo, indicador deficiente en los proyectos donde se ejecutan las actividades de manera convencional. En este sentido, la investigación tiene como objetivo evaluar las consecuencias de los atrasos en los proyectos y optimizar el tiempo incorporando el modelo Lean Construction. El procedimiento consideró la revisión de material bibliográfico, artículos, revistas de construcción y proyectos que plantean innovar la gestión del tiempo con el modelo Lean Construction a través de las herramientas Last Planner System (LPS), carta balance de productividad, trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC), trabajo no contributorio (TNC), porcentaje de partes cumplidas (PPC) y aplicación de la herramienta 5 “s”. Los resultados encontrados que fundamentan el artículo corresponden al proyecto Barranco 360° ubicado en Lima que incluye información sobre la carta balance de productividad cercanos al 80%, TP (40%), TC (41%) y TNC (19%), al proyecto Residencial Gold San Francisco en Cusco con un índice de productividad del 39.5% y al proyecto A con una deficiencia en la productividad del 20 % en sus obras de construcción. Se concluye que los resultados obtenidos permiten gestionar los tiempos, mitigar las restricciones y dar soluciones rápidas y eficientes, que optimizan la productividad sin dejar de lado la calidad en la ejecución del proyecto.

Palabras clave: Lean Construction, Last Planner System, trabajo productivo, trabajo contributorio, trabajo no contributorio, gestión del tiempo.

Cómo citar

M. Murillo Manrique y J. J. Llerena Carhuas, «Incorporación del modelo Lean Construction para innovar la gestión del tiempo en proyectos de construcción», *Perfiles_Ingenieria*, vol. 20, n.º 21, pp. 38-57, jun. 2024.

Abstract

In the construction industry, productivity is sought to improve by innovating time management, a poor indicator in projects where activities are executed conventionally. In this sense, the research aims to evaluate the consequences of delays in projects and how to optimize time by incorporating the Lean Construction model. The procedure considers the review of bibliographic material, articles, construction magazines and projects that propose innovating time management with the Lean Construction model through the tools Last Planner System (LPS), productivity balance sheet, productive work (TP), contributory work (TC), non-contributory work (TNC), percentage of parts completed (PPC) and application of the 5 “s” tool. The results found that support the article correspond to the Barranco 360° project located in Lima that includes information on the productivity balance chart close to 80%, TP (40%), TC (41%) and TNC (19%), to the project Residencial Gold San Francisco in Cusco with a productivity index of 39.5% and project A with a productivity deficiency of 20% in its construction works. It is concluded that the statistical results applying Lean Construction tools allow time management, mitigating restrictions and providing quick and efficient solutions, optimizing productivity without neglecting quality in the execution of the project.

Keywords: Lean Construction, Last Planner System, productive work, contributory work, non-contributory work, time management.

© Los autores. Este artículo Open Access está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0).



1. Introducción

A lo largo de la historia, los proyectos de construcción civil han experimentado diversas evoluciones para adaptarse a las necesidades cambiantes de la sociedad, la tecnología y las normativas. En el caso específico del Perú y de otros lugares, la industria de la construcción ha enfrentado desafíos relacionados con pérdidas económicas y deficiencia en la ejecución de proyectos. Considerando estos desafíos, el enfoque en la gestión eficiente de proyectos se ha vuelto una prioridad y se está prestando mayor atención a la planificación, programación y control de proyectos para evitar retrasos, pérdida de recursos y costos adicionales. En este sentido, en [1] se explica que los beneficios de la filosofía Lean Construction son proporcionales tanto en empresas pequeñas o emergentes como en grandes grupos constructores, quienes ya tienen implementada esta filosofía para ejecutar sus proyectos de construcción a fin de buscar el común denominador de mejorar su rendimiento en obra.

La herramienta Lean Construction, según [2] y [3], es una metodología que se ha desarrollado sobre la base de los descubrimientos de la producción sin pérdidas, para lo cual el proceso considera herramientas como sectorización, tren de trabajo, análisis de restricciones, Last Planner system, Lookahead Planning, porcentaje de plan cumplido y carta balance. Al respecto, [3] sostiene que la integración de las herramientas de la metodología está enfocada a mejorar el control de procesos, la calidad, los tiempos de entrega y la reducción de los desperdicios a fin de mejorar en gran nivel la producción de nuestra industria.

Otro aspecto importante en los proyectos de construcción es de [4] y [5] respecto a la metodología del seguimiento efectivo al plazo contractual de proyectos de edificaciones multifamiliares, en los cuales se evalúan las consecuencias de los atrasos. Esto requiere una metodología que integre las técnicas y herramientas más adecuadas con el fin de asegurar el efectivo seguimiento del plazo contractual de los proyectos de edificaciones.

Otro escenario importante sobre la aplicación del Lean Construction se sustenta en [6] sobre la validación del impacto de la metodología de las 5 “s”, para lo cual se aplicó la encuesta por entrevista y la ficha de observación (“Check List 5 “s”) a 20 obreros de construcción. Además, empleó la carta balance para evaluar la productividad antes y después de la aplicación del Lean Construction en los elementos estructurales. Sus resultados le permitieron concluir que la aplicación del Lean Construction sí presenta efectos positivos con resultados altamente significativos.

En general, la industria de la construcción está en constante evolución para superar desafíos y mejorar su rendimiento. La combinación de tecnología, gestión eficiente, calidad, seguridad y enfoque sostenible son elementos clave en esta evolución para reducir pérdidas y mejorar la ejecución exitosa de proyectos de construcción. Las principales herramientas como el lookahead planning, porcentaje de plan cumplido y carta balance, ayuda a los ingenieros civiles a tomar decisiones en el momento adecuado asegurando una mejora continua [7].

Finalmente, el presente artículo revisa y analiza tres propuestas sobre la importancia de integrar el Lean Construction en los proyectos que se ejecutan con el método tradicional y validar su trascendencia en la gestión del tiempo.

2. Materiales y métodos

2.1 Lean Construction

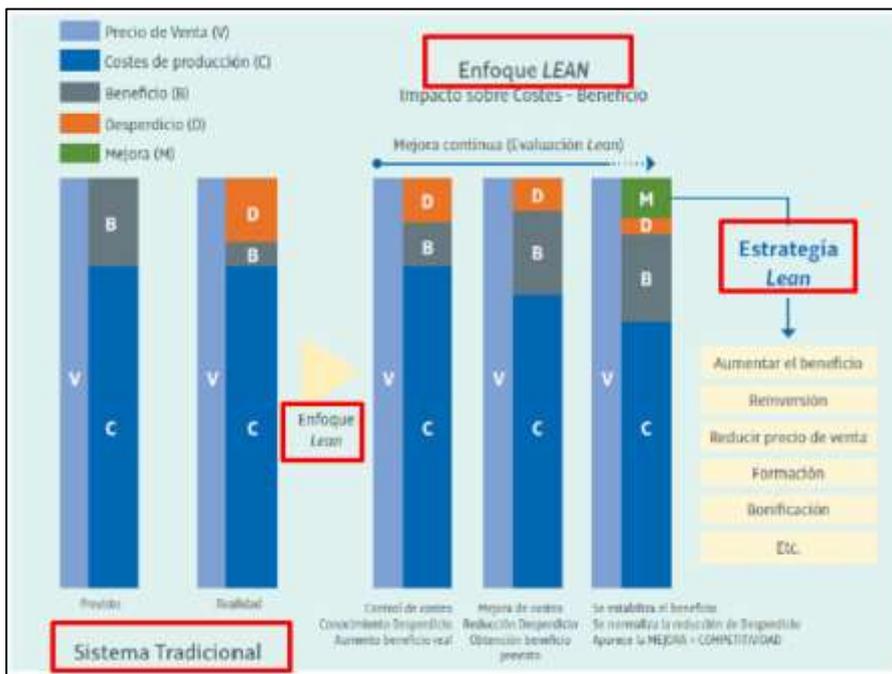
Con la incorporación del Lean en la construcción, se busca eliminar actividades innecesarias, reducir la variabilidad, mejorar la comunicación y colaboración entre los equipos de proyecto, y optimizar los flujos de trabajo. Esto permitirá a través de una serie de prácticas y herramientas diseñadas para eliminar actividades que no agregan valor, reducir tiempos de espera, mejorar la planificación y programación, y fomentar la innovación y mejora continua. A continuación, se describe el enfoque tradicional y la importancia del enfoque Lean en los proyectos de construcción.

a. Enfoque tradicional: Según [2], la industria de la construcción, desde el modo tradicional, se veía como una industria de conversión que tomaba materiales, los transformaba y los entregaba como producto terminado.

b. Enfoque del Lean Construction: En [3], se explica que, para la búsqueda de solución a los problemas actuales en la construcción respecto al costo, a los plazos y productividad en las obras, se dispone de la metodología del Lean que en función a sus herramientas genera un sistema de producción efectivo. Para tal fin, se tienen que cumplir con 3 objetivos básicos según orden de prioridad: asegurar que los flujos no paren, lograr flujos eficientes y lograr procesos eficientes. En la figura 1, se explica cómo funciona el método tradicional versus el enfoque Lean Construction. En [1], se sostiene que es importante analizar el proceso que sigue este método en el impacto sobre los costes y beneficios.

Figura 1.

Sistema tradicional vs Enfoque Lean Construction



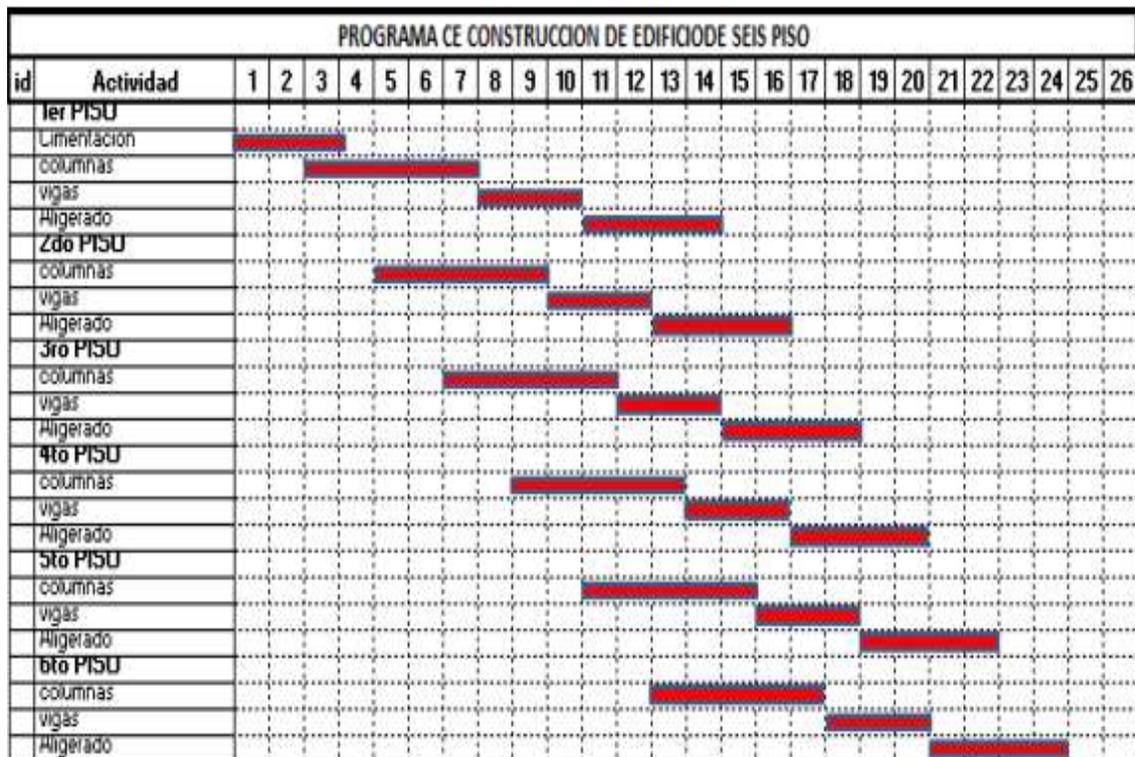
Nota: Tomado de [1]

2.2 Gestión del tiempo en proyectos de construcción

Sobre la gestión del tiempo, [8] explica que la herramienta LPS es importante en las obras de construcción ya que utiliza líneas de flujo (LF) como un método de programación complementario y no alternativo. Además, se enfoca en revisar las programaciones a nivel de partidas generales. Así, la gestión del tiempo o también conocida como gestión de cronograma es fundamental en el desarrollo de las actividades para la culminación de la ejecución de la obra en los plazos determinados. Al respecto, [9] afirma que las herramientas de control, si bien es cierto nos dan información de duración y actividades que se van a realizar a través de graficas CPM, PERT (planificación tradicional que representan la actividad y tiempo), estas solo representan un modelo de conversión de procesos y eliminan el concepto de los flujos que consisten principalmente en movimientos, esperas e inspecciones. En la figura 2, se puede observar el sistema de planificación tradicional con CPM de un edificio de 6 pisos.

Figura 2.

Programa de construcción de edificio. Herramienta de control: barras CPM o PER



Nota: Tomado de [2]

2.3 Modelo de Lean Construction

La construcción sin pérdidas, de acuerdo con [2], [10] y [11], es lo que se conoce como una nueva manera de aplicar la gestión de producción en la industria de la construcción. Por ello, consideran que utilizando el Last Planear System del Lean Construction, la técnica del valor ganado del Project Manager Institute ayudará a reducir el tiempo de ejecución del proyecto a través de la innovación de la planificación.

2.4 Metodología del Sistema Last Planner (LPS)

En los últimos años, el uso de la metodología LPS en proyectos de edificación ha demostrado ser una herramienta que ayuda a cumplir los objetivos de maximización del valor de entrega [12]. De igual manera, en [4] se explica que el LPS mejora la productividad y logra reducir todo tipo de despilfarros. De ese modo, aumenta la rentabilidad de una empresa.

La figura 3 muestra las 12 ventajas de la Metodología del LPS, desde el punto de vista de la gestión del tiempo y su importancia en las obras de construcción.

Figura 3.

Principales ventajas del Last Planner

1	Mayor beneficio y cumplimiento del presupuesto. Reducción de costos.
2	Mejora de la productividad, la calidad y la seguridad. Reducción de los plazos de entrega.
3	Un entorno de trabajo basado en el aprendizaje y la mejora continua.
4	Mejor integración entre los subcontratistas, la comunicación y los compromisos.
5	Identificar y eliminar los despilfarros y las restricciones. Mayor entrega de valor.
6	Ayuda a comprender las dependencias con los otros subcontratistas.
7	Implica la participación de las partes en fases mas tempranas. Mayor colaboración.
8	Oportunidades de mejora en etapas más tempranas.
9	Mejor gestión del riesgo y control de la variabilidad. Reduce las reclamaciones.
10	Suministrar flujo continuo y previsible de trabajo. Administrar la incertidumbre.
11	Intensifica la creatividad y la mejora continua.
12	Mayor satisfacción del cliente interno y externo en general.

Nota: Tomado de [9]

Así también, en la figura 4, se puede observar el modelo general de la metodología del LPS, la cual nos ayuda a entender mejor el esquema que comprende su proceso.

Figura 4.

Modelo Last Planner System (2021)



Nota: Tomado de [1]

2.5 Asegurar que los flujos no paren

Lookahead Planning es un instrumento de planificación del Last Planner System, al que se asigna recursos a una actividad para que sea ejecutada. Esta planificación se trabaja con una mirada al futuro de 3 o 6 semanas según la complejidad del proyecto. Los “Last Planners” seleccionan y disgregan las actividades en asignaciones, para posteriormente hacer un análisis de restricciones, tal como en [9] y [11].

En este sentido, el Lookahead Planning es el filtro que nos ayuda a seleccionar las actividades que son factibles de realizar. Todas estas actividades deberán ser culminadas obligatoriamente en el plazo establecido [11]. En la tabla 1, se observa el formato Lookahead Planning en la que la última columna está designada para colocar los requerimientos necesarios del proyecto.

Tabla 1.

Ejemplo de formato de Lookahead Planning

Actividad	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					Semana 5					Requerimientos					
	L	M	X	J	V	S	L	M	X	J	V	S	L	M	X	J	V	S	L	M	X	J	V	S	L		M	X	J	V	S
Encofrado dinteles																															Compra de materiales
Acero dinteles																															Orden de fierro de 3/8, contratar Mano de Obra
Concreto vigas																															Programar el Concreto
Corte de dowels																															Alquiler de amoladoras
Pintura de coberturas																															Contrato, definir color y comprar materiales.

Nota: Tomado de [11]

El análisis de restricciones es un análisis que se hace los días sábados, después de haber realizado el Lookahead y se abarca principalmente la última semana del Lookahead por ser la que ingresa a la programación intermedia. Además, se realiza un seguimiento a las restricciones que ya fueron ingresadas semanas anteriores para que, cuando se deba realizar la programación semanal, se cuente con un conjunto de actividades libre de restricciones [2]. Las restricciones se agrupan en 11 tipos, según muestra la tabla 2.

Tabla 2.*Tipos de restricciones*

TIPOS DE RESTRICCIONES		
N°	Código	Descripción
1	MAT	Materiales
2	DIS	Diseño
3	MO	Mano de Obra
4	INS	Inspección
5	DOC	Documentación
6	EQ	Equipos
7	HZT	Habilitación Zona Trabajo
8	SEG	Seguridad
9	AMB	Ambiental
10	SC	Subcontratos
11	OTRO	Otros

Nota: Tomado de [2]

2.6 Lograr Procesos eficientes

Porcentaje de plan cumplido (PPC): Es una medida básica de qué tan bien está funcionando el sistema de planificación. Se calcula de la siguiente manera:

$$PPC = \frac{\text{Número de promesas}}{\text{Número total de promesas}} \dots\dots (1)$$

Donde:

Número de promesas = actividades completadas en el día indicado

Número total de promesas = actividades realizadas / planificadas para la semana

Por lo señalado, el PPC mide el porcentaje de tareas que están 100% completas según lo planeado [9]. En la Tabla 3, se muestra el análisis de sectores del porcentaje de plan cumplido (PPC).

Tabla 3.*Análisis de porcentaje de PPC*

Semana	Sector	Actividades		PPC CASCO	PPC TOAL	Sector		Avance Sector
		Programadas	Ejecutadas			Programadas	Ejecutadas	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
				PPC	PPC CASCO	Avance Sector		
				Promedio				

Nota: Tomado de [1]

Carta de Balance: Con esta herramienta podremos medir el desempeño de cada obrero, lo cual ayudará a determinar quiénes son los que más aportan al avance de la partida y quiénes simplemente retrasan los trabajos. Se logrará determinar si la cuadrilla está correctamente dimensionada como se indica en [1]. Además, esta herramienta nos sirve para realizar las mediciones del Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y del Trabajo No Contributorio (TNC), entre todas las partidas realizadas. En la figura 5, se muestran las consideraciones de TC y TNC [13].

Figura 5.*Consideraciones de (TC) y (TNC)*

Se considera TC a las siguientes actividades:	Se considera TNC a las siguientes actividades:
- Picado de placas	- Esperas
- Preparación de mezclas	- Descansos
- Instrucciones iniciales	- Tiempos ociosos
- Lectura de planos	- Necesidades fisiológicas
- Transporte de elementos	- Desplazamientos
- Realización de limpieza	- Picado de pases
- otros	- otros

Nota: Tomado de [1]

Para estas mediciones, se usan grupos de actividades a nivel general. Finalmente, en la tabla 4 se observa el formato de la carta balance.

Tabla 4.

Formato de la carta balance

N°	Cuadrilla	Fecha	TP	TC	TNC	TOTAL
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Nota: Tomado de [13]

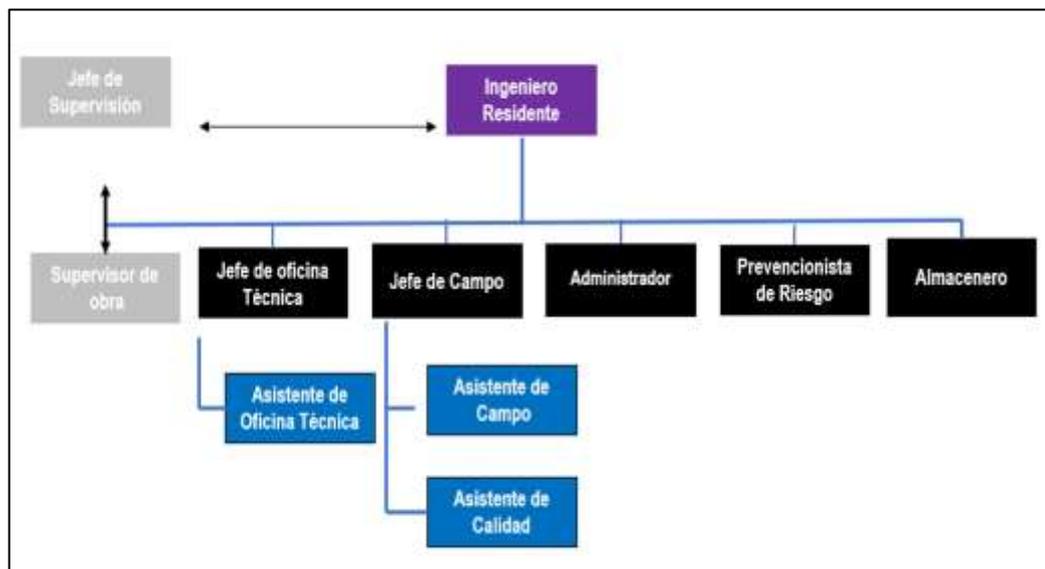
3. Resultados

La validación de los resultados de la incorporación del modelo Lean Construction para innovar la gestión del tiempo en proyectos de construcción ha considerado el proyecto Barranco 360° de la constructora EDIFICA [3], así como la edificación de la Residencial Gold San Francisco en la ciudad del Cusco [6] y la obra denominada Proyecto A de [8].

Como se describe en [3], el proyecto Barranco 360° es un edificio de departamentos ubicado en el distrito de Barranco, en la av. San Martín 625. Cuenta con 2 torres de 10 pisos, 107 departamentos, 3 sótanos, azotea y un total de 83 estacionamientos. Según el planeamiento inicial, tiene una duración de 13 meses. Este proyecto cuenta con aproximadamente 100 obreros y un equipo de obra de 10 personas, como se muestra en el organigrama de la figura 6.

Figura 6.

Organigrama de obra Proyecto Barranco 360°



Nota: EDIFICA

En el proyecto Barranco 360°, [3] sustenta el estudio, análisis y beneficios finales (monetario) de la aplicación de las herramientas Lean. Por consiguiente, al aplicar el enfoque Lean en el nivel general de actividades de obra en su muestra, consideró a todos los obreros. De esta manera, obtiene información sobre los tiempos, además identifica y clasifica este tipo de trabajo en productivo (TP), contributorio (TC) y no contributorio (TNC). Para el caso de estudio, propuso inicialmente 4 sectores en los cuales se describen las actividades por día. Esto se observa en la figura 7.

Figura 7.
División de actividades por día

TREN DE 4 SECTORES					
SUPERESTRUCTURA	DÍAS				
	1	2	3	4	5
ACERO DE VERTICALES	1A	1B	1C	1D	2A
ENCOFRADO DE VERTICALES		1A	1B	1C	1D
CONCRETO DE VERTICALES		1A	1B	1C	1D
ENCOFRADO DE FONDOS Y COSTADOS DE VIGAS			1A	1B	1C
ACERO DE VIGAS			1A	1B	1C
ENCOFRADO DE LOSA + LADO 2 DE VIGA				1A	1B
COLOCACIÓN DE VIGUETAS PRETENSADAS				1A	1B
COLOCACIÓN DE LADRILLO BOVEDILLA				1A	1B
COLOCACIÓN DE IISS				1A	1B
COLOCACIÓN DE IIEE					1A
CONCRETO DE LOSA					1A
Día 1:		Día 2:		Día 3:	
- Encofrado de verticales (Placas y Columnas)		- Encofrado de fondo más un lado de vigas		- Encofrado de un lado de vigas	
- Vaciado de Verticales (Placas y Columnas)		- Acero de vigas		- Encofrado de losas	
				- Colocación de viguetas y bovedillas	
				- Instalaciones sanitarias	
				- Acero de losas	
				- Instalaciones eléctricas	
				- Vaciado de losas	

Nota: Tomado de [3]

En [3] se explica que, mediante el uso del porcentaje del plan cumplido (PPC) semanales en la etapa del casco, se pudo realizar la comparación de los niveles de cumplimiento utilizando 4 y 5 sectores para así poder determinar la diferencia. Se midieron los avances totales del proyecto para cada caso. Los datos se observan en la tabla 5 que se muestra a continuación.

Tabla 5.
Análisis de PPC de 4 y 5 sectores

Semana	Sectores	Actividades		PPC		Sectores		Avance Sectores
		Programadas	Ejecutadas	CASCO	TOTAL	Programadas	Ejecutadas	
21	4	10	5	50.00%	71.00%	4	4	100.00%
22	4	9	0	0.00%	40.00%	4	3	75.00%
23	4	9	4	44.00%	62.00%	5	4	80.00%
24	5	9	9	100.00%	92.00%	5	5	100.00%
25	5	9	7	78.00%	85.00%	5	5	100.00%
26	5	9	8	89.00%	85.00%	5	5	100.00%
27	5	9	8	89.00%	84.00%	5	5	80.00%
28	5	9	7	78.00%	71.00%	5	4	100.00%
29	5	9	9	100.00%	78.00%	5	5	100.00%
30	5	9	9	100.00%	78.00%	5	5	100.00%
31	5	9	9	100.00%	81.00%	5	5	100.00%
32	5	8	8	100.00%	77.00%	5	5	100.00%
33	5	8	8	100.00%	81.00%	2	2	100.00%

	PPC	PPC Casco	Avance Sector
Prom 4 Sec	58.00%	31.00%	85.00%
Prom 5 Sec	81.00%	93.00%	98.00%

Nota: Tomado de [3]

De la tabla 5, [3] concluye que, si se trabaja con 4 sectores, se obtiene un PPC del 58%. De las partidas de casco programadas solo se consiguió un 31%, lo cual se traduce en un avance del sector de 85% de la programación semanal.

Posteriormente, se decide usar 5 sectores y resultó que el PPC se incrementó a 81%, los avances en las partidas de casco también aumentaron a 93%; lo que conllevó a un avance del 98% del sector (casi el total). Esto se traduce que si se utilizan menos recursos se logra un avance significativo que usando 4 sectores. En la figura 8, se determina la sectorización del proyecto Barranco 360°.

Figura 8.
Sectorización de planta típica para 4 sectores



Nota: Tomado de [3]

El formato que utiliza EDIFICA integra el Lookahead Planning con el análisis de restricciones y se denomina “Lookahead de Obra”. Esto se hace para facilitar la visibilidad de las actividades con sus respectivas restricciones. En la figura 9, se aprecia el Lookahead de Barranco 360°, donde se muestra la respectiva programación para el caso de la superestructura y la utilización de los trenes de trabajo y la sectorización aplicada.

Figura 9.
Formato de análisis de Lookahead de Barranco 360°

CODIGO DE PROYECTO		AREA / OPTO	EDIFICACIONES	FECHA																																		
29				viernes, 27 de abril de 2012																																		
NOMBRE DE PROYECTO		CLIENTE	PROYECTO PROPIO	LUBICACION																																		
EDIFICIO BARRANCO 360				AV. SAN MARTIN N° 025																																		
DESCRIPCION DE ACTIVIDAD/RESTRICCION/RECURSOS	RECURSOS de esta actividad	LIND	RESPON SABLE	SEMANA 21							SEMANA 22							SEMANA 23							SEMANA 24							SEMANA 25						
				L	M	J	V	S	S	S	L	M	J	V	S	S	S	L	M	J	V	S	S	S	L	M	J	V	S	S	S	L	M	J	V	S	S	S
CIERRE																																						
Cierre e impermeabilización de cisterna (dado y base)																																						
Cierre e impermeabilización																																						
Alfaro final																																						
Cierre e impermeabilización de cisterna (cable ras)																																						
SUPERESTRUCTURA																																						
Acero de Verticales																																						
Prestos de Acero																																						
Poner a RECORRIDO el diseño del acero dimensionado																																						
Ingreso del acero dimensionado																																						
Encofrado de Verticales																																						
Alfaro (cuerpo)																																						
Alfaro de encofrado																																						
Cemento de Verticales																																						
Cableado horizontal																																						
Encofrado de fondos y Chisado de Vigas																																						
Ingreso de varilla extra del encofrado horizontal																																						
Acero de Vigas																																						
Poner a RECORRIDO el diseño del acero dimensionado																																						
Ingreso del acero dimensionado																																						
Colocación Vigas Perforadas																																						
Colocación de Carabinas																																						
Lubricación de Anchos																																						
Viguetas Perforadas																																						
Colocación Ins. Sismicas y Sanitarias																																						
Concreto de losa																																						
Cableado Perforado																																						

Nota: Tomado de [3]

En el proyecto de Barranco 360°, se realizaron las mediciones utilizando el formato de la empresa, las cuales se muestran en las tablas 6 y 7.

Tabla 6.
Trabajo contributorio

Trabajo Contributorio	
1	Instrucciones / Lectura de planos / mediciones
2	Preparación de materiales y herramientas
3	Transporte
4	Limpieza y seguridad
5	Soporte (puntales, vigas, amarre)
6	Desencofrado

Nota: Tomado de [3]

Tabla 7.
Trabajo No Contributorio

Trabajo No Contributorio	
1	Esperas
2	Viajes
3	Busqueda de materiales
4	Trabajo rehecho

Nota: Tomado de [3]

En la figura 10, se muestra la carta de balance respectiva del proyecto para la partida de encofrado de vigas.

Figura 10.
Medición en la carta de balance

Operario	Apoyante	Operario	Apoyante	Operario	Apoyante	Operario	Apoyante	Operario	Apoyante	Tiempo (min)
Marco Flores	Ben Carlos Guzman	Carlos Espinosa	Juan Antonio	Enrique Diaz	José Rodríguez	Julia Mira	Diego Adamez			2.29
2	2	19	25	12	12					2.29
3	2	16	22	17	25					2.29
4	2	2	25	25	25					2.29
5	2	5	25	25	25					2.29
6	2	9	15	25	1	12				2.29
7	11	11	15	25	1	25				2.29
8	24	12	-	-	2	25				2.29
9	22	21	-	-	11	17				1.07
20	12	19	-	-	11	15				1.07
11	8	9	-	-	13	10				1.07
12	11	11	10	15	1	10				1.07
13	11	23	13	15	1	12				1.07
14	20	15	12	15	11	12				1.07
23	8	4	10	15	11	12				1.07
24	12	21	10	15	17	12				1.07
17	2	3	13	12	14	10				1.07
26	8	22	12	15	10	12				1.07
28	8	9	13	15	12	12				1.07
29	8	9	13	12	10	12				1.07
21	5	9	12	12	10	12				1.07
22	8	4	12	15	13	12				1.07
23	8	12	12	15	12	12				1.25
25	12	12	12	12	12	12				1.25
27	20	8	12	12	10	9				1.25
36	8	12	12	12	1	12				1.25
11	8	12	12	12	1	12				1.25
28	14	14	12	12	5	12				1.25
29	14	14	12	12	2	12				1.25
30	14	14	12	12	1	12				1.25
31	14	14	12	12	1	12				1.25
32	14	14	12	12	1	12				1.25
33	14	14	12	12	1	12				1.25
34	14	14	12	12	1	12				1.25
35	14	14	12	12	1	12				1.25
36	14	14	12	12	1	12				1.25
37	14	14	12	12	1	12				1.25
38	14	14	12	12	1	12				1.25
39	14	14	12	12	1	12				1.25
40	14	14	12	12	1	12				1.25
41	14	14	12	12	1	12				1.25
42	14	14	12	12	1	12				1.25
43	14	14	12	12	1	12				1.25
44	14	14	12	12	1	12				1.25
45	14	14	12	12	1	12				1.25
46	14	14	12	12	1	12				1.25
47	14	14	12	12	1	12				1.25
48	14	14	12	12	1	12				1.25
49	14	14	12	12	1	12				1.25
50	14	14	12	12	1	12				1.25
51	14	14	12	12	1	12				1.25
52	14	14	12	12	1	12				1.25
53	14	14	12	12	1	12				1.25
54	14	14	12	12	1	12				1.25
55	14	14	12	12	1	12				1.25
56	14	14	12	12	1	12				1.25
57	14	14	12	12	1	12				1.25
58	14	14	12	12	1	12				1.25
59	14	14	12	12	1	12				1.25
60	14	14	12	12	1	12				1.25
61	14	14	12	12	1	12				1.25
62	14	14	12	12	1	12				1.25
63	14	14	12	12	1	12				1.25
64	14	14	12	12	1	12				1.25
65	14	14	12	12	1	12				1.25
66	14	14	12	12	1	12				1.25
67	14	14	12	12	1	12				1.25
68	14	14	12	12	1	12				1.25
69	14	14	12	12	1	12				1.25
70	14	14	12	12	1	12				1.25
71	14	14	12	12	1	12				1.25
72	14	14	12	12	1	12				1.25
73	14	14	12	12	1	12				1.25
74	14	14	12	12	1	12				1.25
75	14	14	12	12	1	12				1.25
76	14	14	12	12	1	12				1.25
77	14	14	12	12	1	12				1.25
78	14	14	12	12	1	12				1.25
79	14	14	12	12	1	12				1.25
80	14	14	12	12	1	12				1.25
81	14	14	12	12	1	12				1.25
82	14	14	12	12	1	12				1.25
83	14	14	12	12	1	12				1.25
84	14	14	12	12	1	12				1.25
85	14	14	12	12	1	12				1.25
86	14	14	12	12	1	12				1.25
87	14	14	12	12	1	12				1.25
88	14	14	12	12	1	12				1.25
89	14	14	12	12	1	12				1.25
90	14	14	12	12	1	12				1.25
91	14	14	12	12	1	12				1.25
92	14	14	12	12	1	12				1.25
93	14	14	12	12	1	12				1.25
94	14	14	12	12	1	12				1.25
95	14	14	12	12	1	12				1.25
96	14	14	12	12	1	12				1.25
97	14	14	12	12	1	12				1.25
98	14	14	12	12	1	12				1.25
99	14	14	12	12	1	12				1.25
100	14	14	12	12	1	12				1.25

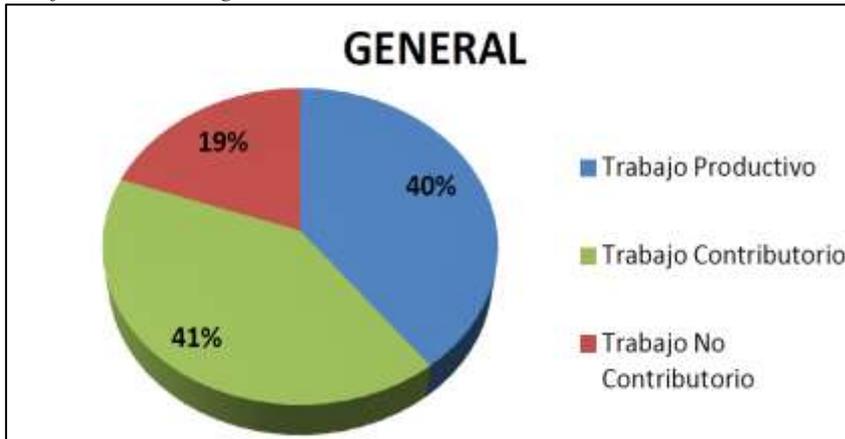
Nota: EDIFICA

3.1. Resultados Generales

Según las mediciones realizadas en el proyecto Barranco 360°, los resultados obtenidos para 384 mediciones son estadísticamente válidos, lo cual se cumplió de acuerdo al objetivo. La figura 11 muestra los resultados de las mediciones.

Figura 11.

Gráfico de nivel general de Barranco 360°



Nota: EDIFICA

Estos resultados comprueban y demuestran que los niveles de productividad encontrados en un proyecto en el que se aplica la filosofía Lean Construction son mayores a otros en los que se construye de manera convencional.

Para el caso tradicional, nos remitimos a [2] que realiza un diagnóstico, crítica y propuesta para incorporar el Lean Construction en los proyectos. En dicho documento se hizo un estudio del estado de la construcción en Lima, a partir del análisis de 50 obras de la capital. Además, describe los niveles bajos del TP, TC y un alto nivel en el TNC. Los resultados se aprecian en la figura 12.

Figura 12.

Estadística sobre 50 obras en Lima



Nota: Tomado de [2]

Otro de los proyectos considerados para el artículo es la edificación de la Residencial Gold San Francisco en la ciudad del Cusco. En este caso, [6] aplica la herramienta de las 5 “s” de la metodología Lean Construction en el proceso productivo de la subpartida de encofrado en columnas. Los resultados muestran un índice de productividad de 41.9%, es decir, un 8.3% más que de lo que se obtiene sin utilizar la herramienta de las 5 “s”, que era del 33.6%. Este acrecentamiento en el índice de productividad, que se sustenta en [6], se logró aplicando rigurosamente la herramienta de las 5 “s” en el proceso productivo de esta subpartida. De ese modo, se alcanzó zonas de trabajo más organizadas, ordenadas y limpias de forma consistente para lograr una mayor productividad y un mejor entorno laboral. El antes y después de aplicar las 5 “s” se muestra en la figura 13.

Figura 13.

Comparación de la productividad de la aplicación de la metodología de las 5 “s”



De los resultados, [6] explica que la aplicación conveniente de la metodología 5 “s” ha obtenido resultados que han permitido la mejora en la calidad de trabajo, así como la disminución de los costos en la construcción de la infraestructura. Esto se tradujo en un 39.5% frente a un 31.4% ya que la adecuada organización, orden, limpieza, estandarización y el cumplimiento de normas que sugiere la metodología han sido aprendidas por los trabajadores, agentes fundamentales de la construcción.

El tercer proyecto analizado es de [8], en el que por razones de seguridad se utiliza la denominación de Proyecto A. En cuanto a la aplicación de la metodología Lean en esta obra, se especifica el uso de las herramientas del Last Planner System en la planificación para el control del cumplimiento de las actividades y el uso correcto de los recursos. Consecuentemente, [8] aplicó planificaciones diarias, semanales (que se verificaban con un porcentaje de partidas cumplidas) y el empleo del Lookahead basados en la programación maestra. A partir de los resultados, se concluye que la aplicación de las herramientas del último planificador no se ejecutó de la manera correcta. En la programación semanal se debió haber realizado un análisis de restricciones que haya permitido un mejor control del planeamiento y un flujo adecuado del proyecto. Al no haber realizado esto de manera correcta, se genera el retraso en el proyecto con su consecuente penalidad. Según [8], el valor adecuado para el PPC (porcentaje del plan cumplido) debe ser mayor al 75 u 80 %. Sin embargo, no se lograron estos valores, pues el rango resultante del PPC se ubicó alrededor del 61%, por lo que el retraso en el proyecto es del 20%.

4. Discusión de resultados

Si comparamos la figura 11 del proyecto de [3], en el que se incorpora el Lean cuyos resultados del TP= 40%, TC=41% y TNC=19%, con los resultados de la Figura 12 de [2], que no utiliza el Lean y presenta un TP=28%, TC=36% y TNC=36%, se puede asegurar que el Lean mejora la gestión del tiempo, lo que se refleja en el Trabajo Productivo y el Trabajo Contributorio en altos porcentajes de cumplimiento. Por tanto, el Trabajo no Contributorio presenta un menor porcentaje esperado. Al respecto, [8] explica que un valor de TNC muy alto indica que en esta partida se tuvo varias complicaciones para poder avanzar el trabajo con normalidad (esperas, demoras, trabajos rehechos, etc.)

Asimismo, en la figura 13, en la cual [6] aplica las 5 “s” de Lean en obras civiles, se observa que también se mejoran los índices de productividad, lo que significa la eliminación del desperdicio, la organización del lugar de trabajo y la implementación de procedimientos estandarizados. Por lo tanto, el Trabajo Productivo es mayor.

Finalmente, según [8], en el proyecto “A”, las herramientas no se aplicaron de manera efectiva en todos los procesos por todas las personas involucradas. Como resultado, el porcentaje del plan cumplido (PPC) no alcanzó el valor esperado, lo que condujo a retrasos en el proyecto y, posiblemente, a penalidades económicas. Además, la productividad deseada no se logró, lo que indica que el proyecto no pudo alcanzar los niveles de eficiencia y ejecución planeados.

5. Conclusiones

Se concluye que la aplicación del modelo Lean Construction en el proyecto Barranco 360°, desarrollado en [3], se logró obtener altos niveles de productividad, reflejados específicamente en el trabajo productivo y el trabajo Contributorio, lo cual nos indica que hubo mejoras y mayor control en la optimización del tiempo.

En el proyecto de la edificación Residencial Gold San Francisco, desarrollado en [6], se concluye que, habiéndose aplicado convenientemente la metodología 5 “s” del Lean Construction, se han obtenido resultados positivos que aumentaron los índices generales de productividad.

En el proyecto A, desarrollado en [8], y en el cual se utilizó la herramienta Lean específicamente el Last Planner System, se concluye que la empresa encargada de llevar a cabo el proyecto fue penalizada por extensión de plazo. Las causas que provocaron esta penalidad no son responsabilidad de Lean sino de factores externos y de los responsables del control de la obra.

Por lo tanto, se concluye que la incorporación del modelo Lean Construction en la gestión del tiempo en proyectos de construcción puede proporcionar una ventaja competitiva y significativa al mejorar la eficiencia, reducir costos y acelerar la finalización de proyectos. Al enfocarse en eliminar desperdicios, fomentar la colaboración, utilizar metodologías ágiles y mejorar la calidad se puede lograr una gestión del tiempo más innovadora y exitosa en la industria de la construcción.

6. Referencias

- [1] Alvarado, L. (2021). *Filosofía Lean Construction: Comparación de beneficios en empresas emergentes y grupos constructores exitosos*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [2] Virgilio Ghio. (2001). *Productividad en obras de construcción*. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [3] Guzmán, A., (2014). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos*. PUCP, Lima. Lima: Tesis para optar por el título de Ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5778/?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] Herrera, R., (2019). *Metodología del seguimiento efectivo del plazo contractual de proyectos de construcción de edificaciones multifamiliares*. UPC, Lima. Lima: Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626586#:~:text=A%20partir%20de%20lo%20>
- [5] Bernabé, A., (2021). *La gestión del tiempo en obras de edificación para optimizar el plazo contractual*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma, Lima. Lima: URP. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4693/T030_47732511_T%20%20
- [6] Corahua, W., Lozano, J. (2017). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la Productividad de la mano de obra en los elementos estructurales: columnas, placas, vigas y losas aligeradas de la residencial Gold San Francisco en la ciudad del Cusco*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles] Universidad Andina de Cusco.
- [7] Porras, H (2014). *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual*. ISSN: 1794-4953.
- [8] Flores, D. (2020). *Interacción entre BIM y Lean construction analizadas en proyectos de edificación*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles]. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/172759>
- [9] Chacmana, J. (2019). *Gestión del tiempo para identificar las actividades críticas en la etapa de obra gruesa del centro comercial Real Plaza Este*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles]. Universidad Ricardo Palma.

- [10] Chambilla, L. (2019). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en el planeamiento del proyecto mejoramiento de los servicios de salud del hospital Hipólito Hunanue*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles]. Universidad Privada de Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/82>
- [11] Valenzuela, I. (2018). *Análisis y definición de estrategias para la implementación de las herramientas del Lean Construction*
- [12] Katerine, Z. (2021). *Implementación de la metodología Last Planner System en el déficit de la construcción del puente el Carmelo*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles]. Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7744>
- [13] Ochoa, V. (2021). *Confiabilidad de porcentaje de partes cumplidas en el índice de productividad*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles]. Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4941>

Trayectoria académica

Margarita Fredesvinda Murillo Manrique

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Doctora en Educación. Magister en Gestión y Docencia Universitaria. Ingeniera Electricista. Estudios de postgrado en Ingeniería de Sistemas. Bachiller Profesional en Electricidad y Electrónica. Doctora Honoris Causa por la UNDAC. Metodóloga en los programas de titulación TITES-FI-URP. Docente en las Escuelas de Ing. Civil, Electrónica y Mecatrónica URP. Docente en la Escuela de Post grado de Ingeniería Industrial-URP. Docente en la Universidad Tecnológica de Lima Sur - Escuela de Ing. Mecánica y Eléctrica. Investigadora RENACYT. Miembro del Grupo de Investigación GI-ROMA-VRI-URP. Cuenta con publicaciones en SCOPUS y revistas científicas.

Autora corresponsal: margarita.murillo@urp.edu.pe / margaritamurillom@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2580-0082>

Junior Javier Llerena Carhuas

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Estudiante (9no ciclo) de Taller de Investigación en Ingeniería I. EPIC-URP. Experiencia en Software: ETABS, SLIDE, AutoCAD, CIVIL 3D, HEC-RAS. Certificaciones en: Lectura de Planos (SENCICO), ETABS (SENCICO), Seguridad y salud ocupacional en trabajo de alto riesgo (SENCICO), Instalaciones eléctricas y sanitarias (SENCICO), AutoCAD (SENCICO).

junior.llerena@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8002-4964>

Contribución de autoría

Margarita Murillo Manrique:

Metodología: Diseño y planificación de los métodos y procedimientos utilizados en la investigación

Supervisión: Guía y dirección del trabajo, asegurando que la investigación se realice de acuerdo con los estándares científicos y éticos.

Validación: Verificación de los resultados obtenidos en la investigación mediante comparación con estándares, replicación de experimentos. Evaluación de similitud

Redacción: revisión y edición: Corrección y mejora del manuscrito original, incluyendo la reorganización de contenido, refinamiento del lenguaje y aseguramiento de la claridad y coherencia.

Junior Llerena Carhuas:

Conceptualización: Desarrollo de la idea principal el enfoque teórico y los objetivos de la investigación.

Curación de datos: Proceso de recopilación, selección y organización de los datos

Investigación: Información necesaria para el estudio.

Software: Uso de programas informáticos para analizar datos y gestionar información en la investigación.

Recursos: Identificación y provisión de materiales, herramientas, equipos.

Visualización: Creación de gráficos, tablas

Redacción: borrador original: Elaboración del primer manuscrito del artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en la presente investigación.

Responsabilidad ética y legal

El desarrollo de la investigación se realizó bajo la conformidad de los principios éticos del conocimiento, respetando la originalidad de la información y su autenticidad.

Declaración sobre el uso de LLM (Large Language Model)

Este artículo no ha utilizado en su redacción textos provenientes de LLM (ChatGPT u otros).

Financiamiento

La presente investigación ha sido realizada con recursos propios de los coautores de la investigación.

Agradecimiento

A nuestra familia, quienes son la motivación para seguir adelante y a la Universidad Ricardo Palma porque en sus aulas se forja el nuevo conocimiento.

Correspondencia: margarita.murillo@urp.edu.pe / margaritamurillom@gmail.com