

Asignatura	Administración gerencial y economía
Profesor titular	Juan Fco. Esquembre DBA, PMP, GPM-b
Jefe de trabajos prácticos	Ing. Miguel Valentini
Apunte complementario	Unidad 5: Bases para el seguimiento y control de proyectos Productividad en proyectos de construcción y arquitectura

1. Conceptos introductorios de productividad

Productividad es la relación entre lo producido y lo gastado en ello.

Se puede expresar como:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad producida}}{\text{Recursos empleados}}$$

La productividad también puede definirse en forma más explícita como una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado.

Es decir, la productividad comprende tanto la eficiencia como la efectividad, ya que de nada sirve producir muchos metros cuadrados de muros de albañilería en una obra, utilizando muy eficientemente los recursos de mano de obra, si estos muros resultan con serios problemas de calidad, hasta el punto de que deben demolerse posteriormente para rehacerlos.

		Utilización de recursos	
		Pobre	Buena
Logro de metas	Alto	Efectivo pero ineficiente	Efectivo y eficiente Zona de productividad
	Bajo	Ineficiente y ineffectivo	Eficiente pero inefectivo

Ilustración 1: Relación entre eficiencia, efectividad y productividad

Ejemplificando lo anterior sobre la base de un proyecto de construcción, la organización corresponde a todo el personal que forma el equipo del proyecto, desde el gerente o administrador del proyecto hasta el trabajador que realiza el trabajo más simple en el terreno.

La responsabilidad de lograr una organización productiva recae en el administrador del proyecto, quien debe:

- proveer los recursos y capacidades necesarias para ejecutar las obras,
- la dirección, planificación y control de estos recursos y de todo el proceso,
- las decisiones respecto a la metodología,
- secuencia y otros aspectos relevantes,
- un ambiente de trabajo adecuado
- y la información para que los grupos de trabajo puedan desempeñarse productivamente.

A su vez, los grupos de trabajo, por ejemplo, una cuadrilla, deben ser bien conformados y balanceados sobre la base de las capacidades requeridas y deben contar con los recursos necesarios, entre otras cosas.

Finalmente, los trabajadores se desempeñarán más o menos productivamente, según:

- si cuentan con la capacitación necesaria,
- si están debidamente motivados
- y si no están restringidos por factores externos en la ejecución de sus tareas.

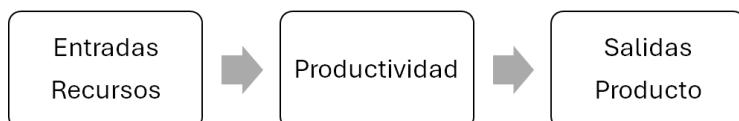
La ilustración siguiente resume los conceptos aquí descritos.



Ilustración 2: Organización y productividad

2. Organización y productividad

La productividad está asociada a un proceso de transformación, tal como se indica en la ilustración:



Proceso

Ilustración 3: Proceso de transformación

A este proceso ingresan recursos necesarios para producir un material, un bien o dar un servicio, y posteriormente, a través del proceso, se obtiene un producto o un servicio cumplido.

En la construcción, los principales recursos empleados en los proyectos son los siguientes:

- materiales
- mano de obra
- maquinaria y equipos

3. Proceso y productividad

Considerando los diferentes tipos de recursos, es posible hablar de las siguientes productividades:

- Productividad de los materiales: en la construcción es importante una buena utilización de los materiales, evitando todo tipo de pérdidas.
- Productividad de la mano de obra: es un factor crítico, ya que es el recurso que generalmente fija el ritmo de construcción y del cual depende, en gran medida, la productividad de los otros recursos.
- Productividad de la maquinaria: este factor es importante por el alto costo de los equipos siendo, por lo tanto, muy relevante evitar pérdidas en la utilización de este tipo de recurso.

La ilustración siguiente resume los principales tipos de productividad en la construcción. Su agregación determina la productividad general de la gestión de una obra.

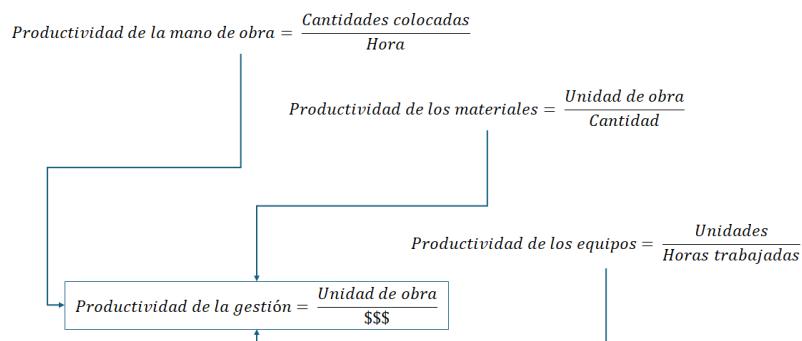


Ilustración 4: Productividad de la gestión

Hay muchos factores que afectan la productividad en la construcción.

Lo importante para el administrador de una obra es saber cuáles son los más negativos, para poder actuar sobre ellos de modo de disminuir su efecto, y cuáles aportan positivamente de manera de incrementar su efecto.

La siguiente ilustración explicita en forma gráfica esta situación, indicando sólo algunos de los innumerables factores que afectan a la productividad en la construcción.



Ilustración 5: Factores que afectan la productividad

Para lograr una buena productividad, es necesario que aporten todos los que pueden de una u otra manera afectarla, es decir, todos aquellos que tengan que ver con la ejecución del trabajo.

Los más importantes a este respecto son los siguientes:

- cliente o dueño,
- proyectistas,
- constructor,
- mano de obra
- y proveedores.

La figura muestra un esquema con los principales participantes en un proyecto de construcción y la forma más común de relación entre ellos.

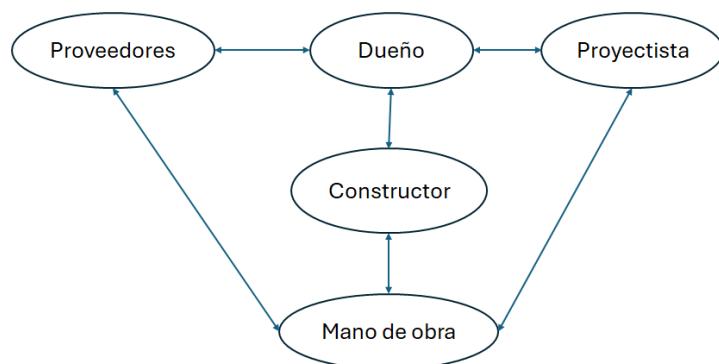


Ilustración 6: Relación entre participantes de un proyecto de construcción

De todos ellos, el que tiene un mayor impacto en el desarrollo de la industria de la construcción es el dueño, ya que a través de actitudes que privilegian el buen

desempeño de los otros participantes que le prestan servicios distintos, impulsa el esfuerzo de éstos para satisfacer a su cliente.

Por desgracia, los dueños generalmente han provisto a la industria de incentivos negativos, al privilegiar el precio como un criterio de adjudicación de los proyectos que realizan, sin considerar de forma más relevante el desempeño de las empresas que postulan.

Todos los participantes de un proyecto pueden beneficiarse y son responsables de lograr una alta productividad siendo, además, los que aportan los diferentes elementos del trabajo.

4. Elementos básicos de la productividad de la mano de obra

En el caso de la mano de obra, debido a la relevancia de ese factor, es necesario que estén presentes tres elementos básicos para que ésta sea productiva:

- El obrero debe desear realizar un buen trabajo, lo que está relacionado con la motivación y satisfacción en el trabajo.
- El obrero debe saber realizar un buen trabajo, lo que tiene relación con la capacitación y entrenamiento de este.
- El obrero debe poder realizar un buen trabajo, lo que implica una administración eficiente y efectiva.

Si cualquiera de estos elementos básicos está ausente o es deficiente, la productividad de la mano de obra es afectada, siendo este efecto proporcional a la severidad de la deficiencia existente.

5. El trabajo

El trabajo es la expresión final o la demostración de la acción de la administración.

Los elementos básicos del trabajo son:

- Personal: aporta habilidades o capacidades, demanda satisfacción de deseos y necesidades.
- Materiales necesarios para la ejecución del trabajo
- Ubicación: acceso al trabajo. entorno de la obra.

- Herramientas y equipos requeridos.
- Información: técnica, de gestión.

Los elementos presentes en un trabajo afectan y son afectados por el método de trabajo.

La grafica siguiente muestra la relación entre los participantes de un proyecto, los elementos de trabajo y el producto final, es decir la obra.

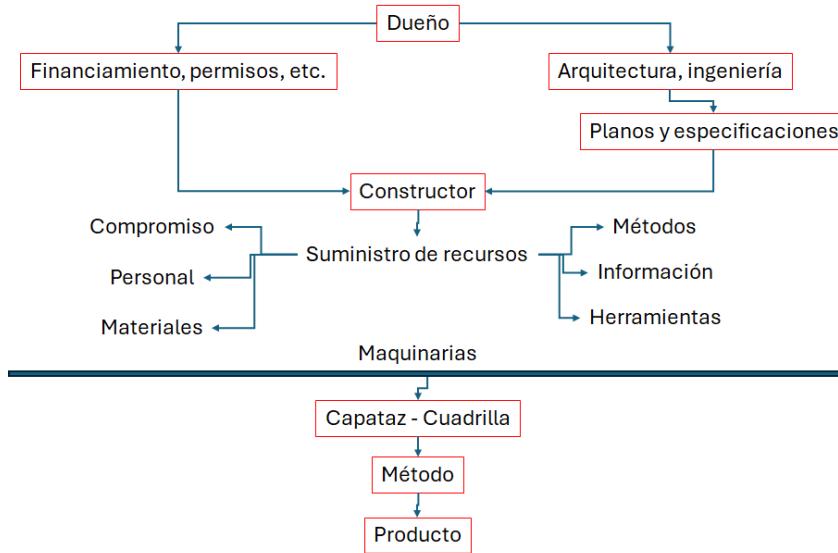


Ilustración 7: Relación entre los participantes de un proyecto, los elementos de trabajo y la obra

El contenido de trabajo de una tarea o actividad de construcción se compone, de:

- Trabajo no contributorio o no productivo: cualquier actividad que no corresponda a alguna de las categorías siguientes. Algunos ejemplos son: caminar con las manos vacías, esperar que otro obrero termine su trabajo, fumar, etc.
- Trabajo contributorio: aquel trabajo de apoyo, que debe ser realizado para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Algunos ejemplos de actividades en esta categoría: recibir o dar instrucciones, leer planos, retirar materiales, ordenar o limpiar, descargar un camión, etc.
- Trabajo productivo: aquel trabajo que aporta en forma directa a la producción, incluyendo actividades tales como la colocación de ladrillos, el pintado de un muro o la colocación de la armadura.

La figura muestra la composición normal del contenido de trabajo:

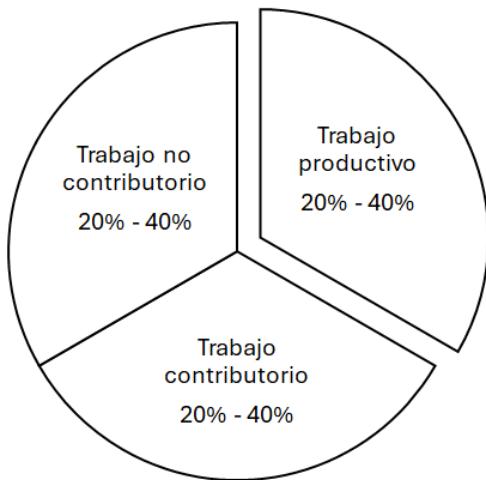


Ilustración 8: Composición normal del contenido de trabajo

La productividad del trabajo se mide en relación al contenido de trabajo productivo.

Es posible apreciar que existen grandes diferencias entre los distintos tipos de obra, siendo las obras de edificación en altura las que alcanzan el mejor nivel de trabajo productivo.

En varias obras en que se ha realizado un seguimiento continuo de sus índices de trabajo en las distintas categorías y en las que se han aplicado sistemas de mejoramiento de la productividad, se han logrado valores muy superiores, y estos son:

- Trabajo productivo: 60%
- Trabajo contributorio: 25%
- Trabajo no contributorio: 15%

Uno de los problemas más serios en relación a las pérdidas que se producen en obra se encuentran en sistemas inadecuados de control (costo, avance físico, etc.) que no muestran adecuadamente las actividades no contributorias durante la ejecución del trabajo, las que pasan normalmente desapercibidas en el contexto general.

Durante la ejecución del trabajo se van produciendo actividades no contributorias que van restando tiempo, al tiempo disponible para realizar el trabajo productivo que es el que interesa, a saber:

- Esperando instrucciones
- Retirando herramientas
- Esperando herramientas
- Retirando materiales
- Esperando por materiales
- Solicitando equipos
- Esperando equipos
- Interrupciones personales
- Esperando por inspección
- Transporte innecesario
- Esperando por espacio

Sobre estas actividades hay que actuar oportunamente, para mejorar la productividad y reducir pérdidas.

6. Actividades no contributorias no detectadas

Las actividades no contributorias provienen básicamente de deficiencias de las siguientes fuentes:

- La dirección de la obra
- El trabajador
- El método de trabajo
- El proyecto
- Las condiciones ambientales y de seguridad.

Por otro lado, la velocidad o ritmo de trabajo es establecida básicamente por estos mismos elementos.

Algunos elementos críticos al respecto son:

- La entrega a las cuadrillas de los elementos necesarios para la ejecución del trabajo.
- Los métodos utilizados para ejecutar los trabajos.

En relación con la entrega de elementos (herramientas, materiales, instrucciones), lo más importante es actuar sobre el tiempo de respuesta, de manera de reducir las pérdidas por esta causa, tal como lo indica la figura:

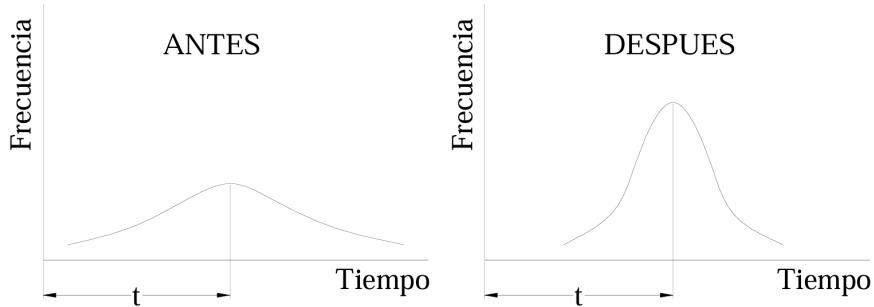


Ilustración 9: Distribución del tiempo de respuesta en la entrega de elementos para la ejecución del trabajo

Uno de los problemas que se producen como consecuencia de las pérdidas de productividad, es el hecho de buscar a quien responsabilizar por éstas, con lo que se produce un verdadero flujo de culpabilidad, tal como se muestra en la figura, que oculta los problemas e impide su solución oportuna.

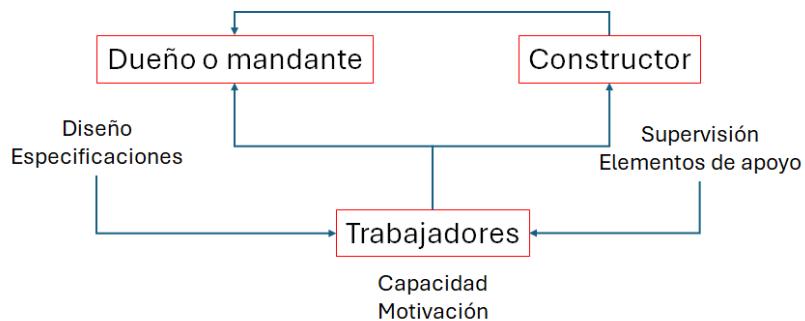


Ilustración 10: Culpabilidad por problemas de productividad

Una forma de evitar estos problemas es contando con buenos documentos del contrato, especificaciones y planos, y con una buena planificación del trabajo en los diferentes niveles, que sirva como marco de referencia para analizar la información de control, la cual debe ser confiable y lo más actualizada posible. También se debe buscar soluciones constructivas a los problemas, con la cooperación de todos, y evitando que se generen resentimientos entre las partes.

7. Factores que afectan la productividad de la construcción

7.1. Factores que tienen un efecto negativo sobre la productividad

Los principales factores que afectan negativamente a la productividad son los siguientes:

- Sobretiempo programado y/o fatiga
- Errores y omisiones en planos y especificaciones
- Muchas modificaciones durante la ejecución del proyecto
- Diseños muy complejos
- Diseños incompletos, atrasados
- Agrupamiento de trabajadores en espacios reducidos
- Falta de supervisión del trabajo
- Reasignación de la mano de obra de tarea en tarea
- Ubicación inapropiada de los materiales
- Temperatura o clima adverso
- Mala o escasa iluminación de los frentes de trabajo
- Nivel de agua subterránea muy superficial
- Mucho ausentismo de trabajadores
- Mucha rotación de personal (contrataciones y despidos)
- Falta de materiales cuando se necesitan
- Falta de equipos y herramientas cuando se necesitan
- Alta tasa de accidentes en el trabajo
- Disputas jurisdiccionales entre cuadrillas
- Disponibilidad limitada de mano de obra adecuada y capacitada
- Composición y tamaño inadecuado de cuadrillas
- Situación económica del país y nivel de desempleo
- Exceso de tiempo en la toma de decisiones
- Ubicación de la obra en un lugar de difícil acceso
- Exigencias excesivas de control de calidad
- Interrupciones no controladas (café, ida a los servicios, etc.)

- Hora del día y día de la semana, que provocan variaciones en el desempeño de las personas
- Características de tamaño y duración de la obra, poco motivadoras para el personal.

7.2. Factores que tienden a mejorar la productividad

Los principales factores que ayudan a un mejoramiento de la productividad son los que se indican a continuación:

- Aprovechamiento del fenómeno de aprendizaje
- Programas educacionales y de capacitación del personal
- Programas de seguridad en la obra
- Uso de materiales y equipos innovadores
- Prefabricación de partes de obra
- Utilización de técnicas modernas de planificación
- Utilización de ayudas computacionales
- Uso de hormigón premezclado
- Aplicación de ingeniería del valor
- Programas de motivación del personal
- Revisión de diseños para una construcción más simple (mejoramiento de la constructibilidad)
- Estandarización de las partes y elementos de la obra
- Pre-planificación de las operaciones
- Programación a intervalos cortos, a nivel de cuadrillas
- Prácticas eficientes de adquisiciones
- Uso de modelos a escala para el análisis de la ejecución de operaciones y de la distribución de áreas.
- Estimular un espíritu de competencia sano entre cuadrillas
- Usar incentivos en los contratos de obras
- Utilización eficiente de los subcontratistas
- Disponibilidad suficiente de herramientas
- Uso de estudios de tiempos y movimientos, para mejorar la eficiencia, reducir la fatiga y trabajar más racionalmente
- Buena supervisión del trabajo

- Análisis de películas con intervalos de tiempo para el estudio y mejoramiento de métodos
- Aplicación de herramientas de ingeniería industrial, a la construcción
- Uso del muestreo del trabajo e informes de costos para controlar la eficiencia de la dirección de la obra
- Optimización del sistema productivo (instalaciones de faena)

Un buen administrador de obra debe conocer estos factores para saber dónde y cómo actuar, reduciendo o anulando los efectos negativos y promoviendo aquellos que tienden a mejorar la productividad.

El efecto de los factores que reducen la productividad puede resumirse en cinco categorías de pérdidas de productividad, tal como se muestra en la figura:

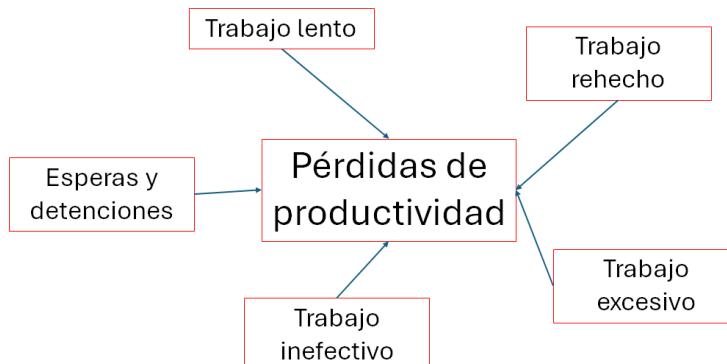


Ilustración 11: Principales categorías de pérdidas de productividad

Algunos ejemplos de factores de pérdida para cada una de estas categorías, son los siguientes:

- Esperas y detenciones: esperando por materiales, esperando cancha, esperando información, etc.
- Viajes excesivos: demasiados trámites en diferentes lugares, caminos mal diseñados o poco claros, deficiente distribución de las instalaciones de faenas, etc.
- Trabajo lento: obreros poco capacitados, obreros desmotivados, fatiga, clima adverso, exceso de personal, etc.
- Trabajo inefectivo: cambio continuo en las faenas del personal, invención de trabajos para mantener ocupado al personal, etc.

- Trabajo rehecho: reparación de defectos de obra y elementos desaplomados, fallas en mediciones, cambios de diseño, etc.

Finalmente, es importante establecer que la productividad incluye la obtención de la calidad requerida para la obra y sus partes.

Este aspecto es muy importante ya que en ocasiones se incentiva en la producción, y en ese afán de obtener incentivos, el trabajador va dejando de lado la calidad.

La consecuencia inmediata es la aparición de un factor que es extremadamente negativo para la productividad, y que corresponde a rehacer trabajos. Es por ello que no debe olvidarse que el tiempo, el costo y la calidad son objetivos que generalmente se contraponen:

Mayor alcance / calidad → Mayor tiempo y/o mayor costo

Menor tiempo → Menor calidad y/o mayor costo

Menor costo → Menor calidad y/o mayor tiempo

Y por lo tanto, cuando se desea actuar sobre uno de ellos, no debe descuidarse los otros.

Estos elementos conforman lo que las buenas prácticas del PMI denominan la “Triple restricción”.

7.3. Triple restricción en proyectos de construcción y arquitectura

El concepto de la "triple restricción" en la gestión de proyectos es fundamental para entender cómo se manejan los proyectos dentro de la industria de la construcción y arquitectura.

Esta restricción implica que todo proyecto está limitado por tres factores críticos interdependientes: el alcance / calidad, el tiempo y el costo.

La efectividad en la gestión de estos tres factores determina en gran medida el éxito del proyecto.

1. **Alcance:** En el contexto de la construcción y arquitectura, el alcance define las características y funciones específicas del edificio o estructura a

construir, incluyendo especificaciones detalladas de diseño, materiales y estándares de calidad. Mantener un control riguroso del alcance es vital para cumplir con las expectativas del cliente y los requerimientos regulatorios.

2. **Tiempo:** Los proyectos de construcción tienen plazos estrictos para su completitud, desde las fases preliminares de diseño hasta la construcción final. La gestión eficiente del tiempo es crucial para evitar retrasos costosos y para sincronizar las múltiples etapas de construcción, lo que incluye la adquisición de materiales, la mano de obra, y la coordinación de subcontratistas.
3. **Costo:** Controlar los costos implica no solo adherirse al presupuesto inicial, sino también manejar los costos indirectos y asegurarse de que el proyecto sea rentable. En la construcción, los sobrecostos pueden surgir debido a cambios en el diseño, fluctuaciones en el precio de los materiales, o ineficiencias en la gestión del proyecto.

La gestión de la triple restricción requiere una planificación y un control meticulosos, y los gestores de proyectos deben estar constantemente evaluando y reajustando estos tres elementos para mantener el equilibrio adecuado.

En la práctica, este equilibrio a menudo se complica por las demandas contradictorias de los interesados, los imprevistos en la construcción y los cambios en el ambiente regulatorio o del mercado

8. Causas de pérdida de productividad

Las principales causas que provocan pérdidas de productividad se encuentran en las siete categorías que se presentan en la figura:



Ilustración 12: Principales causas de pérdida de productividad

8.1. Problemas de diseño y planificación

- Problemas de la interfase Ingeniería-Construcción, que se traducen en problemas de atraso en el diseño, diseños muy complejos, etc.
- Falta de planificación preliminar o de preparación de la ejecución de la obra
- Deficiente estimación de costos
- Falta de planificación operacional o de corto plazo del trabajo en terreno
- Faltan de información y herramientas adecuadas de control del proceso de ejecución de la obra.
- Poca constructibilidad de los diseños y de los métodos de construcción.

8.2. Ineficiencia de la administración

- Falta de supervisión efectiva, lo que normalmente significa una razón supervisor / supervisados muy baja (ejemplo: un capataz para 50 obreros)
- Problemas de coordinación y comunicación debido a una organización mal diseñada
- Estado inadecuado de los supervisores o ejecutivos de primera línea. ¿Son o no administradores?
- Planificación de los trabajos, realizada por personas que no tienen la calificación para ello. Normalmente se le deja la planificación operacional a los jefes de obra o capataces, los que generalmente no cuentan con la capacitación requerida para hacerlo de forma efectiva

- La falta de planificación operacional deriva en un déficit importante de control a este mismo nivel
- La administración generalmente es más reactiva que preventiva. En la construcción se trabaja mucho dentro del esquema de “apagar incendios”, lo que limita su efectividad.
- Adicionalmente, las obras muchas veces están subdotadas de personal ejecutivo o éstos están sobrecargados de tareas administrativas que les impiden poder focalizar su esfuerzo en la dirección del proceso de construcción.

8.3. Métodos inadecuados de trabajo

- Deficiente utilización de recursos, debido a cuadrillas sobredimensionadas, maquinaria y equipos subutilizados y mal aprovechamiento de materiales
- Uso de tecnologías inadecuadas para el tipo de trabajo
- No consideración de alternativas más eficientes para la realización de los trabajos
- El gran problema de la mala calidad de los procesos de construcción
- Falta de utilización y aprovechamiento de experiencias de proyectos anteriores, lo que lleva a cometer los mismos errores nuevamente.

8.4. Grupos y actividades de apoyo deficientes

- Insuficiencia de recursos para realizar los trabajos, debido a problemas presupuestarios o una subestimación de los costos reales
- No disponibilidad de recursos, generalmente por razones de mercado y por falta de planificación del proceso de adquisiciones y contratación
- Control inadecuado de la utilización de los recursos, especialmente aquellos que son escasos y caros
- Deficiencias importantes en las funciones administrativas, tales como control de bodegas e inventarios, manejo del pañol de herramientas, tramitación de órdenes de compra, etc.
- Inadecuada manutención de recursos que la requieren, como las maquinarias y equipos

- Inadecuada distribución de la instalación de faenas, lo que produce problema de transporte, problemas de espacio, etc.

8.5. Problemas de recurso humano

- Capacitación deficiente, lo que provoca problemas de calidad, lentitud en la ejecución de los trabajos, etc.
- Problemas importantes de seguridad en la obra, lo que impacta negativamente el desempeño de las personas
- Falta de función de gestión del recurso humano en las obras, lo que se traduce en poca motivación y satisfacción en el trabajo
- Responsabilizar a los trabajadores del logro de una buena productividad, sin reconocer que la influencia que ellos tienen es mínima
- Poca o ninguna utilización de la experiencia del personal

8.6. Problemas de seguridad

- Los niveles de seguridad en las obras de construcción son inadecuados, en particular por una falta de conciencia de la administración de los impactos que tienen los accidentes en el desempeño de la obra y por una deficiente fiscalización de las condiciones de prevención de riesgo de las obras.
- El impacto de las deficiencias de seguridad en la motivación y el ambiente de trabajo en obra puede llegar a ser importante. A su vez, los accidentes producen pérdidas personales, de productividad y económicas que pueden ser de gran magnitud.

8.7. Problemas de los sistemas formales de control

- En la construcción se usan sistemas de control orientados preferentemente a una comparación de los costos reales con los costos presupuestados, la que se realiza periódicamente. Sin embargo, estos sistemas adolecen de varias deficiencias:
 - Normalmente no miden productividad, lo que impide focalizar adecuadamente las acciones correctivas.
 - No muestran los problemas de productividad en forma explícita, por lo que muchos de ellos no se identifican y no se corrigen.

- La información incluida en estos sistemas puede ser distorsionada, con lo que se esconden problemas hasta que es demasiado tarde para corregirlos.
- No identifican claramente las responsabilidades por buen o mal cumplimiento.
- No indican explícitamente las deficiencias de las actividades de apoyo a la producción.
- Enfatizan la atención sobre ítems que sobrepasan el presupuesto, sin considerar ni aprovechar grandes potenciales de ahorro que pueden existir en aquellos que están bajo el presupuesto.

9. Mejoramiento de la productividad

La descripción que se ha presentado en relación con el gran número de problemas que pueden afectar la productividad en la construcción, entrega una pauta para evaluar la situación que presenta una empresa u obra y para tomar acciones correctivas orientadas a la solución de los problemas identificados y el mejoramiento de la productividad.

Para llevar a cabo lo anterior, es conveniente utilizar el ciclo de mejoramiento de la productividad, tal como se muestra en la figura

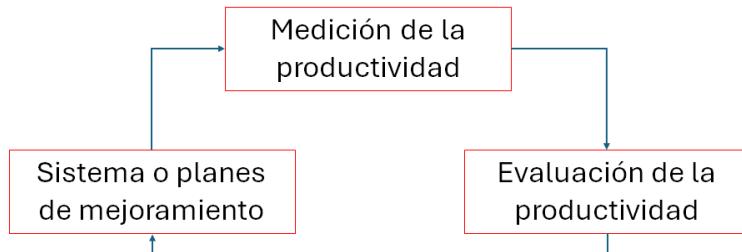


Ilustración 13: Ciclo de mejoramiento de la productividad

Cada una de las etapas comprende actividades que deben ser realizadas para el mejoramiento.

Estas son:

- Medición de la productividad.
 - Toma de datos

- Análisis y procesamiento de la información
- Evaluación de la productividad:
 - Diagnóstico
 - Identificación de problemas
 - Determinación de cursos de acción
 - Evaluación de alternativas
- Sistemas o planes de mejoramiento
 - Implementación de estrategias y acciones de mejoramiento
 - Seguimiento y control de la implementación y sus resultados

Una de las actividades básicas para el mejoramiento es la medición de la productividad.

En la siguiente figura se presenta un esquema sencillo que puede ser utilizado para medir la productividad de las obras de construcción.

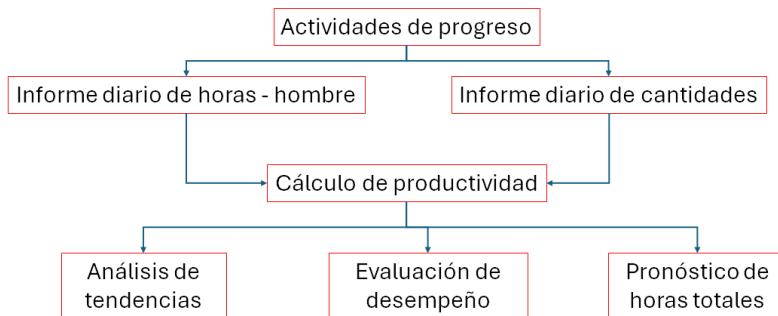


Ilustración 14: Esquema para la medición de la productividad en obras de construcción

Este esquema puede ser aplicado a nivel general, es decir para medir la productividad global, o puede utilizarse para la medición de algunas actividades importantes o un conjunto de ellas.

El sistema de medición de la productividad tiene los siguientes objetivos:

- Determinar las razones que hacen que una obra o actividad sea más productiva que otras similares o iguales
- Medir e identificar las diferencias existentes
- Evaluar el desempeño en forma objetiva
- Servir de marco de referencia para las otras etapas del ciclo de mejoramiento de la productividad

- Realizar análisis de tendencia, proyectando los resultados hacia el futuro (término de la obra)
- Realizar pronósticos de costo, plazo, etc.

Una forma de graficar el significado del mejoramiento de la productividad para una obra se muestra en la Figura, a continuación:

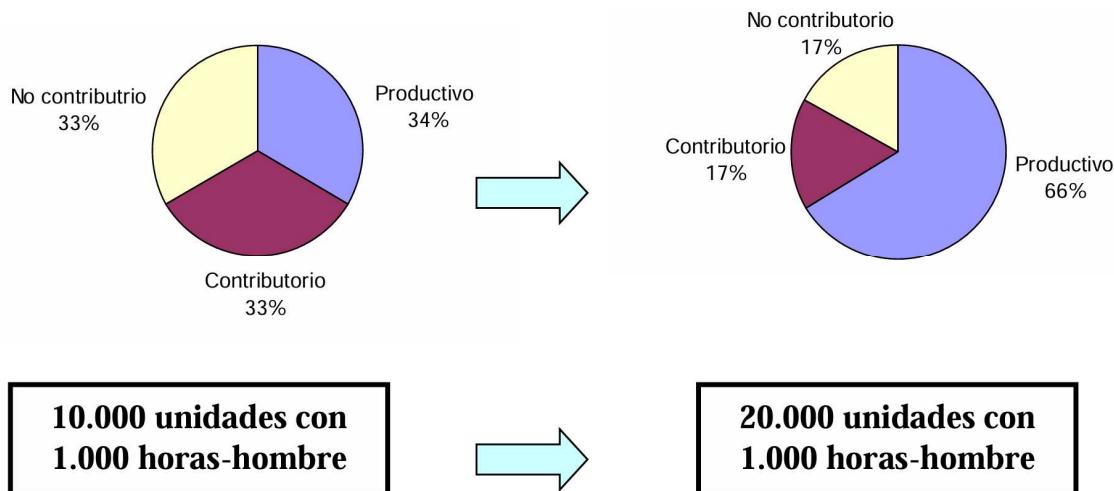


Ilustración 15: Mejoramiento de la productividad

Si como resultado del mejoramiento de la productividad, una obra lograra duplicar sus niveles de trabajo productivo, y asumiendo que lograra mantener sus rendimientos, la reducción de las pérdidas de trabajo productivo permitiría también duplicar la producción obtenida con la misma cantidad de recursos. Es decir, lograría duplicar su productividad.

10. El fenómeno del aprendizaje en la construcción

El fenómeno de aprendizaje ha sido comprobado empíricamente, y consiste en que cuando se produce algo, a medida que el número de ciclos o repeticiones aumenta, el tiempo o costo por repetición va disminuyendo.

Este proceso trae consigo un aumento de la productividad a medida que se va repitiendo la producción de un bien o la prestación de un servicio.

En esta sección se presenta los principales conceptos del fenómeno de aprendizaje y su eventual aplicación a la construcción.

10.1. Niveles de aprendizaje

El aprendizaje puede producirse a distintos niveles dentro de una organización:

- 10.1.1. Aprendizaje organizacional: se mide a través de la función de producción (curva de aprendizaje organizacional), que es una forma de estimar la velocidad a la cual una organización aprende a producir un producto.

Los principales factores que inciden en el aprendizaje organizacional son:

- Mejoramiento organizacional: mejor supervisión en la coordinación de los esfuerzos y en proveer soluciones a problemas, mejor control, etc.
- Mejoramiento de los métodos de trabajo: mejores secuencias operacionales, técnicas y herramientas más modernas, etc.
- Mejoramiento del diseño del producto: estandarización, menos cambios de ingeniería de proyecto, etc.
- Aumento de la habilidad de las personas o aprendizaje personal.

- 10.1.2. Aprendizaje personal: normalmente se diferencian dos etapas en el aprendizaje personal:

- Etapa de aprendizaje de la operación: etapa durante la cual los trabajadores adquieren suficiente conocimiento de la tarea a ejecutar. En esta etapa la productividad aumenta rápidamente.
- Etapa de adquisición de experiencia: es una etapa posterior a la anterior, en la cual se produce un mejoramiento gradual de la productividad, debido a una creciente familiarización con el trabajo y también a cambios en los métodos de trabajo y en la organización.

El aprendizaje personal es afectado por varios factores, tales como:

- La complejidad de la tarea, de acuerdo con:

- Duración del ciclo: normalmente las tareas más largas son consideradas como más complejas, debido a que el trabajador sufrirá un mayor olvido entre ciclos.
- Grado de dificultad en los movimientos requeridos.
- Entrenamiento previo.
- Capacidad de las personas, dada por:
 - La edad, dado que las personas de mayor edad tienen una velocidad menor de aprendizaje.
 - El sistema nervioso y la capacidad física de la persona.
 - El aprendizaje anterior.
- Motivación del trabajador: los incentivos y otras formas de motivación pueden influenciar en forma importante la velocidad de aprendizaje de las personas

10.1.3. Aprendizaje grupal: es afectado por varios factores, además de la gran mayoría de los mencionados anteriormente para el aprendizaje organizacional y personal:

- Tamaño del grupo: a medida que aumenta el tamaño del grupo, aumentan las posibilidades de aprendizaje del trabajador.
- Nivel general de especialización y experiencia del grupo: a mayor nivel, más rápido será el aprendizaje.
- Cambios en la composición del grupo: afecta a la velocidad de aprendizaje existente.

10.2. Aplicación a la construcción

Los proyectos de construcción presentan algunas características que afectan significativamente al aprendizaje:

- El bajo número de repeticiones que se produce en algunos casos.
- La gran improvisación siempre existente en la organización, dirección y planificación del proceso de construcción, lo cual puede ser altamente negativo para el aprendizaje.

- La dificultad de mantener una buena coordinación y continuidad del trabajo.
- La gran rotación de personal dentro de la obra. Todos estos factores representan potenciales interrupciones del proceso de aprendizaje, las cuales producen una pérdida de aprendizaje (olvido), con la consiguiente reducción de la productividad.

10.2.1. Condiciones requeridas para el aprendizaje en la construcción

La condición más importante para obtener aumentos de productividad debido a la repetición en los proyectos de construcción es la continuidad del trabajo.

Dos factores diferentes se incluyen en la continuidad del trabajo

- Continuidad operacional: las operaciones a realizar deben ser idénticas o muy similares, y deben ser ejecutadas por las mismas personas.
- Continuidad de la ejecución: el trabajo debe ejecutarse sin ningún tipo de interrupciones.

El cumplimiento de estas condiciones puede ser facilitado si se toman en cuenta los siguientes factores:

- Diseñar los proyectos asegurando la máxima similitud de las operaciones, con el objeto de lograr repetitividad. Para ello es conveniente estandarizar los diseños.
- Pre-planificación y organización del trabajo en obra.
- Buena administración de la obra

En resumen, se deben evitar las interrupciones durante la construcción, y actuar positivamente sobre todos los factores mencionados que favorecen el aprendizaje en todos sus niveles.

10.3. Modelo analítico de la curva de aprendizaje

La curva de aprendizaje representa un intento de medición del mejoramiento de la productividad debido a la repetición.

La ecuación de la curva es la siguiente:

$$Y^N = KN^S$$

Donde:

- Y^N es el esfuerzo para producir la enésima unidad
- K es el esfuerzo requerido para producir la primera unidad.
- N es el contador del número de unidades producidas, comenzando con la primera unidad
- S es una constante que es una medida de la tasa de aprendizaje.

La constante S es negativa, ya que el esfuerzo por unidad disminuye con la producción.

La medida del esfuerzo por unidad es normalmente expresada en términos de tiempo, costo u otro parámetro relevante.

La figura muestra la relación expresada por la ecuación

$$Y^N = KN^S$$

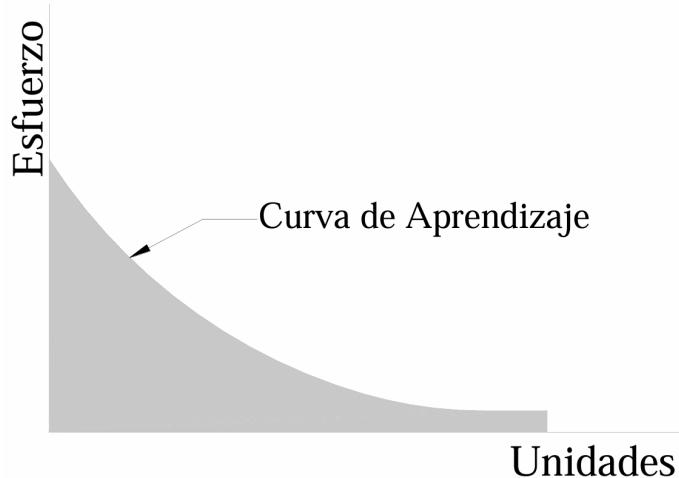


Ilustración 16: La curva de aprendizaje

Este modelo tiene a característica de describir reducciones porcentuales constantes en el esfuerzo requerido por unidad, cada vez que la producción o el número de unidades se duplica, es decir, para cualquier valor de S,

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \left[\frac{K * 2^S}{K + 1^S} \right] = 2^S$$

La siguiente tabla muestra los resultados para un aprendizaje de un 90%, cada vez que N se duplica:

Número de unidades (N)	Esfuerzo (Y)
1	100
2	90
4	81
8	73
16	66
32	59
64	53
128	48
256	43
512	39