

APLICACIÓN DE LAS CURVAS DE APRENDIZAJE PARA LA GESTIÓN DE LAS ORGANIZACIONES

CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL “ISLACIENCIA 2021”

CIENCIA, UNIVERSIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE PARA LA AGENDA 2030

Autores:

Ing. Edian Dueñas Reyes. Ingeniero Industrial. Profesor Instructor del Departamento de Matemática de la Universidad de Matanzas. (eithan@nauta.cu).

D. C. Yadamy Rodríguez Sánchez. Ingeniera Industrial. Profesora Auxiliar. Jefa del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas. (yadamy.rodriquez@umcc.cu).

Ing. Geidy Arencibia Franquiz. Profesora Asistente del Departamento de Industrial de la Universidad de Matanzas. (geidy.arencibia@umcc.cu).

Resumen

La mayoría de las organizaciones aprenden y mejoran sus actividades en el tiempo. A medida que los empleados desarrollan alguna actividad una y otra vez aprenden cómo realizarla de forma más eficiente, esto significa que el tiempo y costo de la realización de la actividad tiende a disminuir. El proceso de adaptación del conocimiento tiene como finalidad liberar el potencial representado por el conocimiento de una organización para dar origen a acciones de creación de valor: identificar qué sabe la organización y en qué forma, y volver accesible y utilizable el conocimiento tácito. Una de las herramientas que ofrece una visualización detallada de los conocimientos de la organización y el empleo de los mismos en los procesos de producción es la curva de aprendizaje o curva de conocimiento. La noción subyacente en las curvas de aprendizaje es que las personas, individual o colectivamente desarrollan una actividad con lo que ganan en eficiencia lo que se traduce en un decrecimiento del tiempo empleado para realizar la actividad. Se basan en el principio que las personas y organizaciones se perfeccionan en las diferentes actividades a medida que estas son repetidas. Es por ello que el presente artículo tiene como objetivo: demostrar la utilidad de los modelos de curvas de aprendizaje como herramienta para la reducción de los costos en las organizaciones. El fenómeno del aprendizaje parte del supuesto de que la repetición de determinada actividad mejorará la destreza de quien la realiza

posibilitando el aumento de la productividad. Este no está exento de un modelo matemático capaz de modelar la situación descrita el cual permite reducir los costos de producción. El presente trabajo tiene como objetivo: demostrar la utilidad de los modelos de curvas de aprendizaje como herramienta para la reducción de los costos en las organizaciones, como resultado se obtienen la modelación de 3 escenarios prácticos de utilización de las curvas de aprendizaje que dan cumplimiento al objetivo propuesto.

Palabras claves: curvas de aprendizaje, reducción de costos.

Introducción

El proceso de adaptación del conocimiento tiene como finalidad "liberar el potencial representado por el conocimiento de una organización para dar origen a acciones de creación de valor: identificar qué sabe la organización y en qué forma, y volver accesible y utilizable el conocimiento tácito" (Von Krogh, 2001). El mismo autor define la innovación, entendida como la capacidad de la empresa para generar soluciones ingeniosas, creativas y rentables de manera que atienda a las necesidades, expectativas y demandas de los consumidores, mercados y sociedad en general, es el factor dinamizador de la competitividad de una organización. Por consiguiente, se requiere que las organizaciones desarrollen habilidades y dispongan de recursos para dinamizar los procesos de innovación.

Una de las herramientas que ofrece una visualización detallada de los conocimientos de la organización y el empleo de los mismos en los procesos de producción es la curva de aprendizaje o curva de conocimiento.

Según Stump (s.a.), la noción subyacente en las curvas de aprendizaje es que las personas, individual o colectivamente desarrollan una actividad con lo que ganan en eficiencia lo que se traduce en un decrecimiento del tiempo empleado para realizar la actividad. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo: demostrar la utilidad de los modelos de curvas de aprendizaje como herramienta para la reducción de los costos en las organizaciones.

Fundamentos de las curvas de aprendizaje

El aprendizaje es el proceso a través del cual se modifican y adquieren habilidades, destrezas, conocimientos, conductas o valores como resultado del estudio, la

experiencia, la instrucción, el razonamiento y la observación. Es una de las funciones mentales más importantes en humanos, animales y sistemas artificiales. En él intervienen diversos factores que van desde el medio en el que el ser humano se desenvuelve, así como los valores y principios que se aprenden en la familia.

Para Nagles (2007), la gestión del conocimiento es un proceso lógico, organizado y sistemático para producir, transferir y aplicar en situaciones concretas una combinación armónica de saberes, "experiencias, valores, información contextual y apreciaciones expertas que proporcionan un marco para su evaluación e incorporación de nuevas experiencias e información."

Una curva de aprendizaje, es una línea que muestra la relación existente entre el tiempo (o costo) de producción por unidad y el número de unidades de producción consecutivas, son modelos matemáticos utilizados para estimar la eficiencia obtenida en la realización de actividades repetitivas.

En el entorno empresarial la curva de aprendizaje puede ser utilizada en las distintas esferas de actuación de la organización: en lo interno para fijar los estándares de mano de obra (Bratianu, 2015) y establecer los costos de la misma (Blanco Encinosa, 2017) así como los presupuestos (Cardona Arbeláez, Del Río Cortina, Romero Severiche, y Lora-Guzmán, 2019); externamente actúa sobre la compra y la subcontratación y en el plano estratégico determina los cambios en la relación volumen-costos y evalúa la actuación tanto de la compañía como de la industria (Chango Galarza, 2018).

Según Chango (2017) Las curvas de aprendizaje se pueden aplicar tanto a los colaboradores como a la empresa en sí y que el aprendizaje individual es el incremento que se logra cuando el talento humano repite un proceso y obtiene habilidad, eficiencia o practicidad a partir de la repetición continua de tareas. Mientras que el aprendizaje de las empresas u organizacional es el resultado de la práctica que proviene de cambios en la administración, los equipos, y diseños de productos y procesos implica ser más eficientes por medio de la automatización y la inversión de capital en tecnología o en personal. Las organizaciones, de acuerdo a L. y R. Krajenski, L. (2000), aprenden igual que las personas, ambos tipos de aprendizaje se presentan al mismo tiempo y con frecuencia se detalla el efecto combinado como una sola curva de aprendizaje.

Las curvas de aprendizaje se pueden construir de dos maneras, de acuerdo con Kelly (1982), la primera es indicando la cantidad de trabajo realizado en un periodo de tiempo y la segunda es indicar las unidades de tiempo que son necesarias para realizar un trabajo específico. Generalmente el tiempo se precisa en el eje de las ordenadas, mientras que la variable cantidad de trabajo se plasma en el eje de las abscisas. Ellas intervienen incluso en el costo de producción, lo que las hace significativamente importante para la industria debido a que el costo esta generalmente ligado al tiempo de producción o las horas hombre consumidas.

Las dos características principales de las curvas de aprendizaje (Everett, 1991) son en primer término que la curva descendiente de izquierda a derecha indica que la experiencia hace descender los costos a medida que aumenta la producción y una segunda característica identificada por los autores es que los costos disminuyen en forma más lenta que la experiencia acumulada esto significa que a medida que pasa el tiempo y maduran los productos, se vuelve más difícil la reducción de costos.

Construcción e interpretación de la curva

Establecer vinculación con aspectos que contribuyan el ámbito empresarial, académico y de docente permite sin dudas la difusión y discusión de un marco racional para el logro de los objetivos y propósitos que permiten lograr el éxito en todos los escenarios empresariales. En esta oportunidad esta obra nos brinda un sinfín de alternativas que giran en torno a tres grandes dimensiones: en primer lugar, las curvas de aprendizaje; en segundo lugar, el desempeño y por último todo ello referido a la gestión empresarial. De esta manera, se hace necesario dar paso a una mirada integral de las organizaciones, ya ellas no permanecen estáticas ni poseen una visión mecanicista, por el contrario, se encuentran en constante dinamismo lo cual hace posible configurar grandes cambios focalizados en el elemento humano como esencial para la consecución de sus propósitos, lo cual incorpora una mirada humanística ante los cambios y transformaciones actuales.

Los ejemplos de aprendizaje ocurren en la vida diaria. Un alumno de escuela primaria aprende, con la práctica, a leer y a realizar operaciones aritméticas con mayor rapidez. Cuando se producen aeronaves, cada unidad necesita menos horas-hombre de mano de obra directa que la anterior. Debido al aprendizaje, el costo de cada unidad sucesiva

va a ser inferior al costo de la anterior en una cantidad determinada por el aprendizaje o experiencia que se logre. Esto ocurre por varias razones: se cambia el proceso, la gente es más rápida en sus tareas, el producto se rediseña para que sea más eficiente, se encuentran fuentes de materiales más económicos o se desarrollan mejores métodos.

Estimación del porcentaje de aprendizaje

Si la producción lleva algún tiempo efectuándose, es fácil obtener el porcentaje de aprendizaje a partir de los registros de producción (se divide el número de trabajadores que se necesitan para producir la segunda unidad entre el utilizado para producir la primera). En términos generales, Everett (1991) señala que, si es larga la historia de producción, la estimación es más precisa. Si aún no se ha iniciado la producción, la estimación del porcentaje de aprendizaje se convierte en una adivinanza, pudiéndose seleccionar entre tres opciones:

- Suponer que el porcentaje de aprendizaje será el mismo que se ha presentado en aplicaciones anteriores dentro de la misma industria.
- Suponer que será el mismo que existió con productos iguales o similares.
- Analizar las similitudes y diferencias entre el inicio propuesto y los inicios anteriores y desarrollar un porcentaje de aprendizaje modificado que se ajuste lo mejor posible a la situación.

Mejora del aprendizaje

Reportes recientes destacan los problemas de adiestramiento moderno tales como la reducción en horas de trabajo, facilidades inadecuadas para el adiestramiento o la falta de experiencia del personal que ingresa al adiestramiento y la falta de recursos. Una cierta actitud, la destreza manual, un adiestramiento estructurado, son factores importantes en la reducción de la curva de aprendizaje

Algunas limitaciones de las curvas de aprendizaje

Antes de usar las curvas de aprendizaje es preciso tener en cuenta algunas precauciones:

- Las curvas de aprendizaje difieren de compañía en compañía así como entre las distintas industrias; la estimación para cada organización debe ser desarrollada en vez de aplicada esquemáticamente.

- Son comúnmente basadas en el tiempo necesario para completar las unidades iniciales, por ello los tiempos deben ser exactos. Según la información recurrente se convierte en información disponible la reevaluación se va haciendo apropiada.
- Cualquier cambio en el personal, diseño o procedimiento puede ser producto de alteración en las curvas de aprendizaje.

Métodos de cálculo para la producción unitaria

➤ Método aritmético

El análisis aritmético es el método más simple para los problemas de curvas de aprendizaje. De tal forma, cada vez que la producción se duplica, la mano de obra por unidad disminuye en un factor constante, conocido como la tasa de aprendizaje. Permite hallar el tiempo para valores duplicados.

$$\text{Fórmula: } T_{2N} = L^{N*}T_N$$

Donde: T_{2N} : tiempo a establecer para una unidad duplicada

L: coeficiente de aprendizaje

T_N : tiempo de la unidad anterior

Este método supone la limitante que solo permite el cálculo para unidades que impliquen la duplicación del producto.

Ejemplo No. 1

Como iniciativa del Ministerio de Cultura y Deportes de fomentar actividades recreativas- saludables y de inserción social, ha planificado la construcción de canchas de fútbol sala en diferentes municipios de la ciudad capital. Actualmente está realizando la planificación del tiempo en horas hombre para evaluar los costos de Mano de Obra que representará la construcción de cada cancha.

Las proyecciones de la Gerencia de Área Técnica, según su experiencia indican que se tardará un total de 6,000 horas hombre para construir cada cancha, los trabajos incluyen fundición de plancha de cemento, malla perimetral, graderíos y un parque infantil a un costado. Debido a que el personal es nuevo en este tipo de proyectos se ha estimado un porcentaje de eficiencia del 85% para la segunda cancha, ya que se conformarán 4 equipos de 8 trabajadores cada uno al inicio del proyecto, para construir 4 canchas al mismo tiempo.

$$\text{Fórmula: } T_{2N} = L * T_N \text{ Según el ejercicio anterior, } L = 0.85$$

Este método solo funciona con valores duplicados por lo que comenzaremos el análisis con la segunda cancha. Aplicando la fórmula anterior quedaría:

$$T_2 = 5100 \text{ horas}$$

$$T_4 = 4335 \text{ horas}$$

$$T_8 = 3684,75 \text{ horas}$$

$$T_{16} = 3132,04 \text{ horas}$$

$$T_{32} = 2662,23 \text{ horas}$$

➤ Método logarítmico

Permite determinar la mano de obra para cualquier unidad y el tiempo para cualquier valor de N.

$$\text{Fórmula: } T_N = T_1 * N^{\log(L) / \log 2}$$

Donde: T_N = Tiempo a establecer para X unidad

T_1 = Horas para producir la primera unidad

N = Unidad requerida a producir..

$\log L$ = Logaritmo del coeficiente de aprendizaje

$\log 2$ = Constante.

Diferentes organizaciones y diferentes productos tienen diferentes curvas de aprendizaje. La tasa de aprendizaje varía dependiendo de la calidad de la gestión y del potencial del proceso y del producto. Cualquier cambio en el proceso, el producto o el personal, rompe la curva de aprendizaje.

Utilizando los datos del ejercicio anterior. Considerando los 2 trabajadores

$$T_{32} = 6000 * (32)^{-0.234} = 2662.83$$

Resulta evidente que la aproximación es significativa. La ventaja de este método radica en que permite calcular el tiempo de cualquier cantidad de piezas, individualmente de su multiplicidad.

Método de cálculo a partir de la producción en lotes

Después de encontrar la curva que mejor modela la producción se debe utilizar la misma para estimar los tiempos de producción de unidades futuras. Pero, rara vez tenemos que estimar el costo o tiempo de una sola unidad más bien se necesita estimar el tiempo de lotes de unidades. Para ello se van sumando los valores de cada una de las unidades que contiene el lote.

$$CT_n = A1^b + A2^b + \dots + AN^b, \text{ aplicando una reglas aritméticas } CT_n = A \sum_{x=1}^N X^b$$

Donde: A tiempo de la primera unidad

b coeficiente. Se obtiene mediante $\ln(L)/\ln(2)$

L índice de experiencia

La expresión anterior pudiera simplificarse mediante:

$$CT_n = \frac{A(N^{b+1})}{b+1}$$

Esto sería, indiscutiblemente si se quisiera calcular el tiempo del primer lote producido. Pero resultaría engorroso al calcular los siguientes lotes para llevar en cuenta en qué unidad empezar a producir y reenumerar cada vez que se pretende estimar la fórmula. Para calcular el costo total de un lote específico con las primeras F unidades hasta las últimas N se tendría:

$$CT_n = A (\sum_{x=1}^N X^b - \sum_{x=1}^{F-1} X^b) \text{ lo que equivaldría a calcular:}$$

$$CT_n = \frac{A(N^{b+1})}{b+1} - \frac{A((F-1)^{b+1})}{b+1}$$

➤ Ejemplo No. 3

Se tienen los siguientes datos históricos suministrados por el jefe de producción de la empresa XYZ.

No. lote	No. unidades	Primera unidad	Última unidad	Costo (miles)
1	50	1	50	10
2	50	51	100	8
3	100	101	200	14
4	50	201	250	¿?

Se desea estimar el costo del cuarto lote considerando el índice de experiencia de 0.8.

Aplicando la fórmula $CT_n = \frac{A(N^{b+1})}{b+1} - \frac{A((F-1)^{b+1})}{b+1}$ para determinar el valor de A con la información de los dos últimos lotes.

$$CT_n = 14000$$

$$N = 200$$

$$F-1 = 100$$

$$b + 1 = \ln(0.8)/\ln(2) + 1 = 0.678$$

Si se extrae factor común $A/(b+1)$ y se despeja A en la ecuación entonces queda

$$A = \frac{CTn*(b+1)}{N^{b+1}-(F-1)^{b+1}} = 697$$

Tomando este valor como el costo de la primera unidad se toma ahora la misma ecuación para determinar el costo del siguiente lote.

$$CT_{201;250} = \frac{697(250^{0.678})}{0.678} - \frac{697((200)^{0.678})}{0.678} = 6097,92 \text{ lo que equivaldría a 6,1 miles de pesos.}$$

Conclusiones

La modelación matemática constituye una fuerte herramienta de planeación para las organizaciones que buscan optimizar los recursos. En representación, las curvas de aprendizaje permiten no solo el seguimiento del aprendizaje individual y organizacional sino que permite reducir los costos de fabricación en la implementación de cualquier proyecto.

Referencias bibliográficas

1. Blanco Encinosa, L. J. (2017). *Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones para la gerencia*. La Habana: Editorial Científico-Técnica.
2. Bratianu, C. (2015). *Organizational Learning and the Learning Organization Organizational Knowledge Dynamics: Managing Knowledge Creation, Acquisition, Sharing, and Transformation*. (pp. 25). Hershey: IGI Global.
3. Cardona Arbeláez, D. A., Del Río Cortina, J. L., Romero Severiche, A. K., & Lora-Guzmán, H. (2019, julio-diciembre, 2019). La curva de aprendizaje y su contribución al desempeño del talento humano en las organizaciones: una revisión teórica. *Revista de investigación, desarrollo e innovación*, 10, 37-51.
4. Chango Galarza, M. (2018). Curva de aprendizaje como factor clave en el desarrollo del sector carrocerero de la provincia de Tungurahua. 13(15), 15. www.postgradovipi.50webs.com
5. Chango Galarza, M., & Zambrano Vallejo, I. (*Las curvas de aprendizaje. Factor de éxito en la medición del desempeño laboral en la gestión*. Retrieved from www.espe.edu.ec
6. Chango, M. y. Z., I. (2017). *Las curvas de aprendizaje. Factor de éxito en la medición del desempeño laboral en la gestión*. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE: Publicaciones Científicas.

7. Dueñas Reyes, E., El Assafiri Ojeda, Y., & Cabot Grillo, D. (2019). *Curvas de aprendizaje*. Matanzas.
8. Everett, A. y. R., E. (1991). *Administración de la Producción y las Operaciones: Conceptos, modelos y funcionamiento*. (P. Hall Ed. 4ta edición ed.). México: Prentice Hall.
9. Kelly, W. (1982). *Psicología de la Educación* (7ma edición ed.). Madrid: Ediciones Morata.
10. Krajenski, L., & Ritzman, L. (2000). *Administración de Operaciones, Estrategia y Análisis*. (5ta edición ed.). México: Editorial Pearson.
11. Krajenski, L. y. R., L. (2000). *Administración de Operaciones, Estrategia y Análisis*. (5ta edición ed.). México: Editorial Pearson.
12. Lapré, M. A., & Nembhard, I. M. (2011). *Inside the Organizational Learning Curve: Understanding the Organizational Learning Process*. Vol. 4. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1561/02000000023>
13. Nagles, G. (2007). La gestión del conocimiento como fuente de innovación. *Revista Escuela de Administración de Negocios*. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20611495008> website: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20611495008>
14. Rios Yangua, U. D. (2017). *Aplicación de la curva de aprendizaje para mejorar la productividad en el área Móviles Perú V de la empresa Teleatento del Perú SAC*. (Ingeniero Industrial Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
15. Stump, E. (s.a.). *All about Learning Curves*. Paper presented at the All about Learning Curves. <https://www.yumpu.com/en/document/view/31123677/all-about-learning-curves-galorath>
16. Von Krogh, G. I., K. y Nonaka, I. (2001). *Facilitar la creación de conocimiento. Cómo desentrañar el misterio del conocimiento tácito y liberar el poder de la innovación*. México: Oxford University Press.