

La determinación del tamaño

La importancia de definir el tamaño que tendrá el proyecto en términos de capacidad productiva se manifiesta principalmente en su incidencia sobre el nivel de las inversiones y de los costos que se calculen y, por lo tanto, sobre la estimación de la rentabilidad que podría generar su implementación. De igual manera, la decisión que se tome respecto del tamaño determinará el nivel de operación que posteriormente explicará la estimación de los ingresos por venta. Cabe señalar que la determinación del tamaño óptimo difiere de la decisión acerca de tecnología en que esta última busca determinar la mejor forma de producir el bien o servicio deseado en la calidad y cantidad especificada por el estudio de mercado; por ello, los ingresos de explotación no constituyen flujos relevantes. En cambio, una vez determinada la tecnología conveniente, la decisión de optimización del tamaño busca establecer, dentro del abanico de opciones de tamaño de dicha tecnología, cuál maximiza la rentabilidad del proyecto. Por tal razón los ingresos sí constituyen parte de los flujos relevantes en la decisión acerca del tamaño.

En este capítulo se analizarán los factores que influyen en esta decisión, los procedimientos para su cálculo y los criterios para buscar su optimización.

8.1. Cuándo evaluar tamaño

La determinación del **tamaño** no siempre constituye un aspecto que deberá abordar el preparador y evaluador de proyectos, pues cuando existe un tamaño único en términos de capacidad productiva o cuando la demanda no es creciente en el tiempo, la decisión es bastante simple. En el primer caso no existe otra opción; en el segundo, hay que buscar aquel tamaño que mejor se adapte a la **demandas constante**. Por consiguiente, el gran desafío existe cuando el preparador y evaluador de proyectos se enfrenta a una **demandas proyectada creciente** y a diversos tamaños de tecnología, pues podría existir una diversidad de combinaciones que satisfagan la condición.

8.2. Factores que determinan el tamaño de un proyecto

La determinación del tamaño responde a un análisis interrelacionado de una gran cantidad de variables de un proyecto: demanda, disponibilidad de insumos, localización y plan estratégico comercial de desarrollo futuro de la empresa que se creará con el proyecto, entre otras.

La **cantidad demandada** proyectada a futuro es quizá el factor condicionante más importante del tamaño, aunque este no necesariamente deberá definirse en función de un crecimiento esperado del mercado, ya que, como se verá más adelante, el nivel óptimo de operación no siempre será el que maximice las ventas. Vender más no necesariamente es sinónimo de ganar más. Aunque el tamaño puede ir adecuándose posteriormente a mayores requerimientos de operación para enfrentar un mercado creciente, es necesario que se evalúe esa opción en contraste con la de definir un tamaño con una capacidad ociosa inicial que posibilite responder oportunamente a una demanda creciente en el tiempo.

Existen tres situaciones básicas del tamaño que pueden identificarse respecto del mercado: que la cantidad demandada total sea claramente menor que la capacidad menor de las unidades productoras posibles de instalar, que la cantidad demandada sea igual a la capacidad mínima que puede instalarse y que la cantidad demandada sea superior a la mayor capacidad de las unidades productoras posibles de instalar.

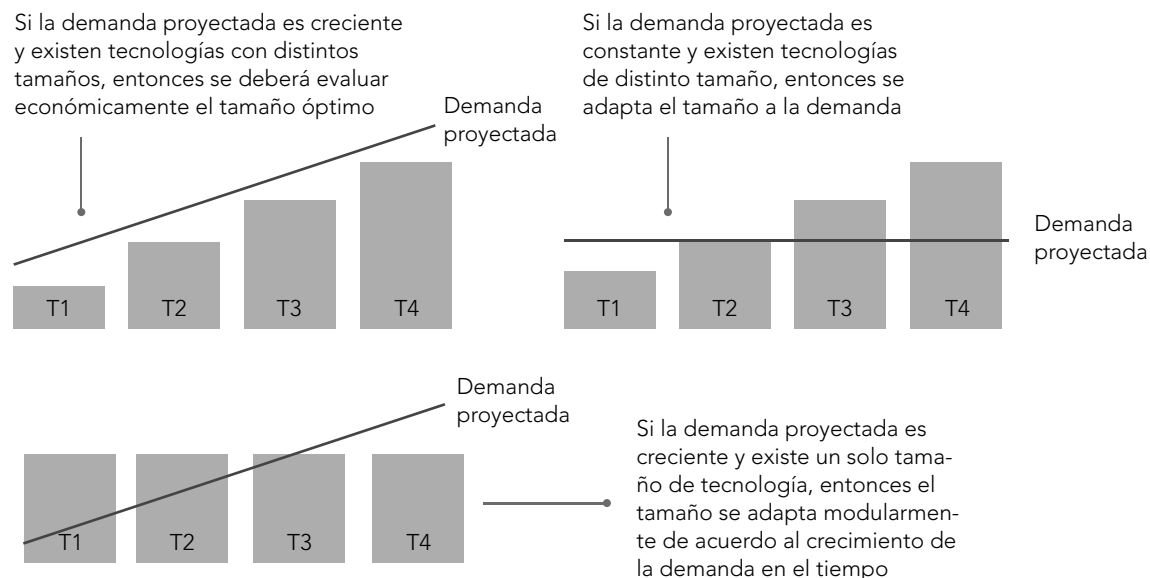


Figura 8.1 ¿Cuándo evaluar tamaño?

Para determinar una de las tres situaciones, se define la función de demanda con la cual se enfrenta el proyecto en estudio y se analizan sus proyecciones futuras con el objetivo de que el tamaño no solo responda a una situación coyuntural de corto plazo, sino que se optimice frente al dinamismo de la demanda en el largo plazo.

recuerde
y reflexione



El análisis de la cantidad demandada proyectada tiene tanto interés como la **distribución geográfica del mercado**. Muchas veces esta variable conducirá a seleccionar distintos tamaños para cada locación, dependiendo de la decisión acerca de la definición sobre instalar una fábrica de gran capacidad o varias fábricas, de tamaño igual o diferente, en distintos lugares y con número de turnos que pudieran variar entre ellos.

Por ejemplo, las economías de escala harán recomendable una planta de mayor tamaño que cubra una mayor extensión geográfica; sin embargo, esto hará subir los costos de distribución y logística, con un efecto contrario al de las economías de escala.

Como se observa en el mapa de la figura 8.2, la decisión de optimización de tamaño del caso que se ilustra tiene como opciones construir una gran planta productiva en la zona central de Perú, en la ciudad de Lima, o instalar tres plantas más pequeñas, pero que abastezcan de manera independiente a los mercados de las zonas central, norte y sur del país.

La disponibilidad de insumos, humanos, materiales y financieros, es otro factor que condiciona el tamaño del proyecto. Los insumos podrían no estar disponibles en la cantidad y calidad deseada, limitando la capacidad de uso del proyecto o aumentando los costos de abastecimiento, lo que puede incluso hacer recomendable el abandono de la idea que originó el proyecto. En este caso, es preciso analizar, además de los niveles de recursos existentes en el momento del estudio, aquellos que se esperan en el futuro. Entre otros aspectos, será necesario analizar las reservas de recursos renovables y no renovables, la existencia de sustitutos e incluso la posibilidad de cambios en los precios reales de los insumos en el futuro.

La disponibilidad de insumos se interrelaciona a su vez con otro factor determinante del tamaño: la **localización del proyecto**. Cuanto más lejos esté de las fuentes de insumos, más alto será el costo de su abastecimiento, produciendo una diseconomía de escala; es decir, cuanto más aumente el nivel de operación, mayor será el costo unitario de los insumos. Lo anterior determina la necesidad de evaluar la opción de tener una gran planta para atender un área extendida de la población *versus* varias plantas para atender cada una de las demandas locales

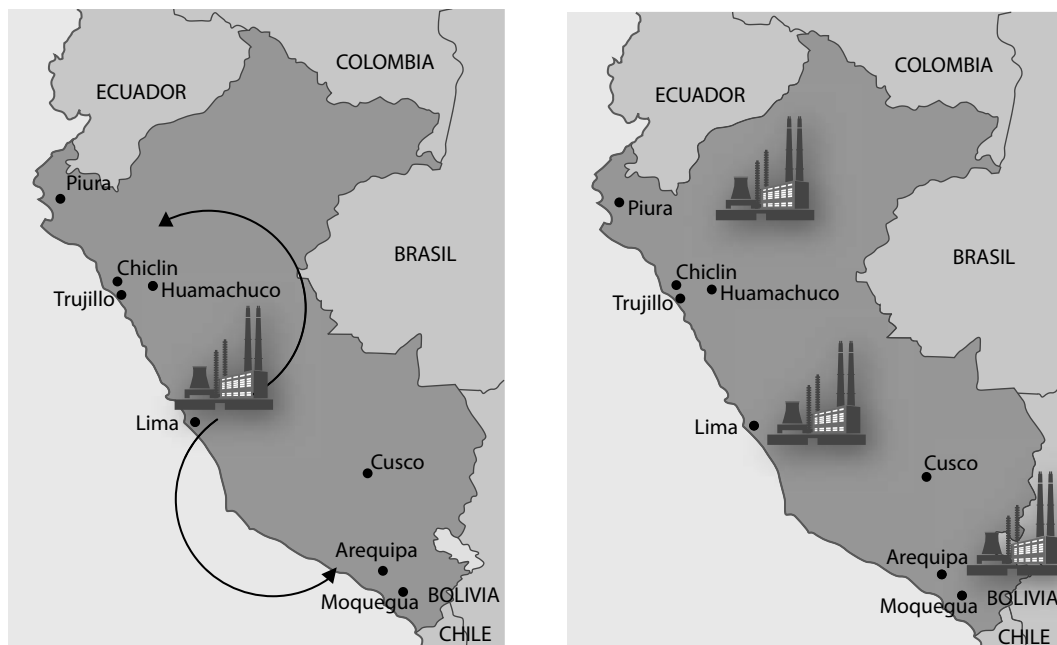


Figura 8.2 Ejemplo de optimización del tamaño.

menores. Cuanto mayor sea el área de cobertura de una planta, mayor será el tamaño del proyecto y su costo de transporte, aunque probablemente pueda acceder a ahorros por economías de escala,¹ por la posibilidad de obtener mejores precios al comprar mayor cantidad de materia prima, por la distribución de gastos de administración, de ventas y de producción entre más unidades producidas, por la especialización del trabajo y por la integración de procesos, entre otras razones.

El tamaño a veces deberá supeditarse, más que a la cantidad demandada del mercado, a la **estrategia de crecimiento** que se defina como la más rentable o segura para el proyecto. Por ejemplo, es posible que concentrándose en un segmento del mercado se logre maximizar la rentabilidad del proyecto. El plan de desarrollo deberá proveer la información para poder decidir el **tamaño óptimo económico**.

Por ejemplo, si un proyecto se plantea en tres etapas, siendo la primera el abastecimiento en la zona central; la segunda, en dos años, abastecer la zona norte; y la tercera, en cuatro años, abastecer en la zona sur, la selección del tamaño óptimo económico deberá considerar la demanda del proyecto en el largo plazo, es decir, considerando el abastecimiento integral y no basándose en la demanda esperada para la primera etapa del proyecto. Sin embargo, no siempre el óptimo económico condiciona la pauta a seguir. En un proyecto de galvanización se debía analizar si resultaba más conveniente comenzar con una tina de galvanizado de 7 metros *versus* una de 12 metros. De acuerdo con la proyección de demanda el óptimo económico se lograba con la de 12 metros; sin embargo, los inversionistas optaron por la de 7 argumentando que resultaba menos riesgoso comenzar un proyecto con menos inversión en vista de la incertidumbre que el negocio generaba en ese momento.

En algunos casos, la tecnología seleccionada permite la ampliación de la capacidad productiva en tramos fijos o discretos. En otras ocasiones, impide el crecimiento paulatino de la capacidad, por lo que puede ser recomendable invertir inicialmente en una capacidad instalada superior a la requerida en una primera etapa si se prevé que en el futuro el comportamiento del

¹ Aunque generalmente no se considera en la evaluación de proyectos, es posible que al aumentar el tamaño después de un determinado punto hasta donde se observen economías de escala, los costos unitarios tiendan a incrementarse, creando deseconomías de escala. Ver el capítulo 16.

mercado, la disponibilidad de insumos u otra variable hará posible una utilización rentable de esa mayor capacidad.

En el estudio de mercado se señaló que la investigación del mercado consumidor podría incorporar un análisis de la elasticidad-precio de la demanda, lo que permitiría establecer cuál podría ser el aumento o disminución de la cantidad demandada ante una variación del precio.

En el análisis de las alternativas tecnológicas, la decisión de cuál resultaba más conveniente partía de la base de que todas ellas debían entregar en calidad y cantidad los requerimientos del mercado, independientemente de que la opción seleccionada pudiera aceptar un mayor nivel de producción. Así, podría existir una determinada capacidad ociosa, que podría utilizarse mediante la disminución del precio de acuerdo con el análisis de elasticidad. Este hecho generará consecuencias tanto en los ingresos del proyecto como en algunos de sus costos. De ahí que el análisis ingreso-volumen, en comparación con el costo asociado a ese mismo volumen, permitirá establecer si una eventual baja en el precio del bien repercutirá favorable o desfavorablemente en los flujos del proyecto. Si la demanda del bien, de acuerdo con las proyecciones del mercado, resulta ser creciente, la baja en el precio que deberá considerarse para el primer año del desarrollo del proyecto no será la misma que se utilice para el segundo, y así sucesivamente, en concordancia con el estudio de elasticidad a que se ha hecho mención.

Cuando se complete la capacidad de uso de la planta en relación con los requerimientos del mercado, podrán presentarse distintas opciones que deberán ser evaluadas económicamente para elegir aquella que genere los mayores beneficios netos al proyecto. De acuerdo con las características específicas de cada proyecto, podrían presentarse situaciones en las que la capacidad quede copada en parte del proceso productivo. En otros casos, cuando el proceso es de carácter continuo, podría ser la planta entera. Al coparse la capacidad en parte o en el total del proceso productivo, podrán existir opciones de solución para adecuar la capacidad a los requerimientos del mercado. De esta manera, podría estudiarse la posibilidad de ampliar la planta adicionando las inversiones, establecer nuevos turnos de trabajo o el pago de horas extraordinarias, encargar a un tercero el desarrollo de ellas e, incluso, aumentar el precio con el fin de lograr una menor cantidad demandada si el coeficiente de elasticidad lo permitiese.

Al disponerse de diversas opciones, se determina cuál es la más conveniente para el proyecto a través de flujos de caja relevantes que permitan estimar el VAN de las distintas alternativas de tamaño. Esta metodología de análisis también es válida para utilizarse en proyectos en marcha cuando la capacidad instalada no logra satisfacer los requerimientos de la demanda.

8.3. Economía del tamaño

Casi la totalidad de los proyectos presentan una característica de desproporcionalidad entre tamaño, costo e inversión, lo que hace, por ejemplo, que al duplicarse el tamaño, los costos y las inversiones no lo hagan. Esto ocurre por las economías o deseconomías de escala que presentan los proyectos.

recuerde
y reflexione



La decisión de hasta qué tamaño crecer deberá considerar esas economías de escala como una variable más del problema, ya que tan importante como estas es la capacidad de vender los productos en el mercado. Lo relevante para la determinación del tamaño óptimo es el máximo VAN que pudiera obtenerse de las distintas opciones de tamaño.

Cubrir una mayor cantidad demandada de un producto que tiene un margen de contribución positivo no siempre hace que la rentabilidad se incremente, ya que la estructura de costos fijos se mantiene constante dentro de determinados límites. Sobre cierto nivel de producción es posible que algunos costos bajen por las economías de escala, mientras que otros suban. También es posible que para poder vender más de un cierto volumen los precios deban reducirse,

con lo cual el ingreso se incrementa a tasas marginalmente decrecientes. Lo anterior puede verse expuesto en la figura 8.3, donde se supone que los ingresos se incrementan a tasas constantes.

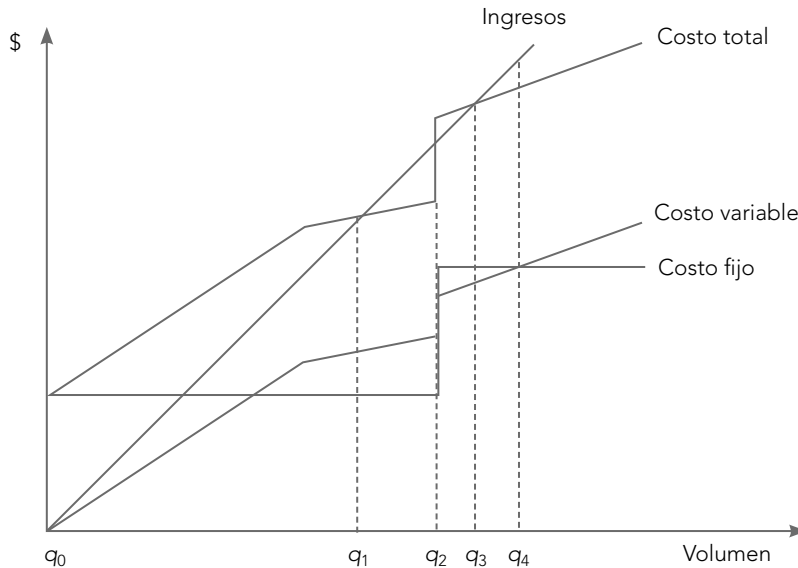


Figura 8.3 Relaciones de costos y utilidad en función del volumen de producción.

Como puede observarse, el ingreso total supera los costos totales en dos tramos diferentes. Si el tamaño está entre q_0 y q_1 , o entre q_2 y q_3 , los ingresos no alcanzan a cubrir los costos totales. Si el tamaño estuviese entre q_1 y q_2 o sobre q_3 , se tendrían utilidades.

La figura permite explicar un problema frecuente en la formulación del tamaño de un proyecto. En muchos casos se mide la rentabilidad para un tamaño que satisfaga la cantidad demandada estimada y, si es positiva, se aprueba o recomienda su inversión. Sin embargo, a veces es posible encontrar tamaños inferiores que satisfagan menores cantidades demandadas, pero que maximicen el retorno para el inversionista. Si en la figura el punto q_4 representa el tamaño que satisface la cantidad demandada esperada, es fácil apreciar que rinde un menor resultado que el que podría obtenerse para un tamaño q_2 , que además podría involucrar menores inversiones y menor riesgo al quedar supeditado el resultado a una menor cobertura del mercado.²

8.4. La optimización del tamaño

La determinación del tamaño debe basarse en dos consideraciones que confieren un carácter cambiante al punto óptimo del proyecto: la **relación precio-volumen**, por el efecto de la elasticidad de la demanda, y la **relación costo-volumen**, por las economías y diseconomías de escala que pueden lograrse en el proceso productivo.



² Sin embargo, al dejar demanda insatisfecha se corre el riesgo de incentivar a otros a incorporarse a este mercado, aumentando su competitividad. Muchas veces será necesario recomendar un tamaño menos rentable, pero que no reduzca las barreras de entrada para nuevos competidores.

La evaluación que se realice de estas variables tiene por objeto estimar los costos y beneficios que conllevan las diferentes alternativas posibles de implementar, así como determinar el valor actual neto de cada tamaño opcional a fin de identificar aquel en el que este se maximiza.

El estudio de mercado, por ejemplo, podría haber entregado resultados cuantitativos en relación con la elasticidad precio-demanda, de tal manera que una vez conocida la mejor alternativa tecnológica podrá compararse la capacidad de producción de ella con la demanda estimada del mercado. Al producirse capacidades ociosas en parte o en el total del proceso productivo, existirá siempre la opción de estudiar la posibilidad de utilizarla.

Para ello, los antecedentes que proporciona el estudio de elasticidad-precio de la demanda serán determinantes a fin de llegar a establecer la conveniencia de bajar el precio para utilizar la capacidad ociosa. Así, la decisión que se adoptará será aquella en la cual el ingreso-volumen comparado con el costo-volumen maximice en términos actuales el beneficio neto del proyecto, tomando en cuenta que un proyecto con demanda creciente, como se analizará más adelante, podría ocupar a futuro la capacidad ociosa, haciéndola disminuir con el tiempo, razón por lo cual la baja de precio estimada para el primer año podría ser mayor que la del segundo y los siguientes.

No menos importante será considerar lo que ocurre cuando en parte o en la totalidad del proceso productivo se cope la capacidad de producción. Ello obliga a desarrollar los estudios comparativos correspondientes, incluidos costos fijos, variables e inversiones que permitan seleccionar aquella opción que maximice el beneficio. De esta manera, podrían estudiarse alternativamente todas aquellas opciones que logren el objetivo deseado, como el pago de horas extraordinarias, los turnos dobles, el trabajo en días feriados, la adquisición de tecnología adicional o el cambio de tecnología de mayor capacidad, la externalización del requerimiento marginal e, incluso, el aumento del precio del producto para lograr una disminución en la cantidad demandada.

Estas opciones podrían estudiarse comparativamente con el objetivo de seleccionar aquella que le reporte los mayores beneficios netos al proyecto.

El criterio que se emplea en este cálculo es el mismo que se sigue para evaluar el proyecto global. Mediante el análisis de los flujos de caja de cada tamaño, puede definirse una **tasa interna de retorno (TIR) marginal** del tamaño que corresponda a la tasa de descuento que hace nulo el flujo diferencial de los tamaños alternativos. La TIR marginal se obtiene construyendo los flujos de caja relevantes asociados únicamente con la decisión que se pretende analizar aislando otros efectos económicos. En este caso, se refiere a independizar los flujos de la decisión de tamaño de los flujos del proyecto integral y de esta manera estimar la rentabilidad asociada solamente con la opción de tamaño estudiada. A este concepto se le denomina TIR marginal.

recuerde
y reflexione



Mientras la TIR marginal sea superior a la tasa de corte definida para el proyecto, convendrá aumentar el tamaño. El nivel óptimo estará dado por el punto en el cual ambas tasas se igualan. Esta condición se cumple cuando el tamaño del proyecto se incrementa hasta el punto en el que el beneficio marginal del último aumento sea igual a su costo marginal.

En la figura 8.4 puede apreciarse la relación de la TIR marginal, del **VAN incremental** y del **VAN máximo** con el tamaño óptimo (T_o). El tamaño óptimo corresponde al mayor valor actual neto de las alternativas analizadas. Si se determina la función de la curva, este punto se obtiene cuando la primera derivada es igual a cero y la segunda es menor que cero a fin de asegurar que

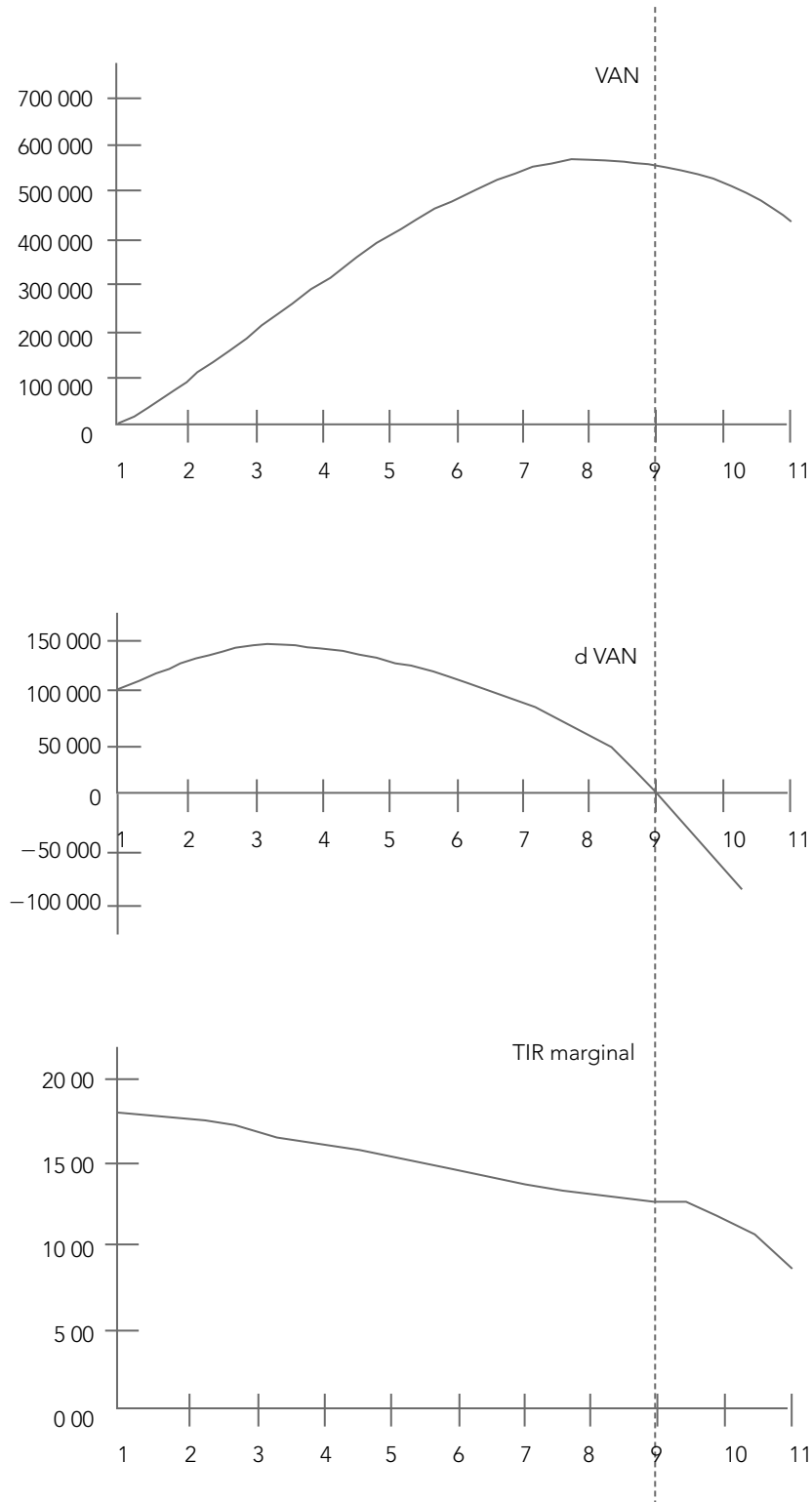


Figura 8.4 Relación de la TIR marginal, del VAN incremental y del VAN máximo con el tamaño óptimo (T_o).

el punto sea un máximo.³ El mismo resultado se obtiene si se analiza el incremento del VAN que se logra con aumentos de tamaño. En T_o , el VAN se hace máximo, el VAN incremental es cero (el costo marginal es igual al ingreso marginal) y la TIR marginal es igual a la tasa de descuento exigida al proyecto.

Si bien lo anterior facilita la comprensión de algunas relaciones de variables y clarifica hacia dónde debe tenderse en la búsqueda del tamaño óptimo, en la práctica este método pocas veces se emplea, ya que como el número de opciones posibles es limitado, resulta más simple calcular el valor actual neto de cada una de ellas y elegir el tamaño que tenga el mayor valor actual neto asociado.⁴ En el siguiente punto se analizará en mayor detalle este aspecto.

8.5. El tamaño de un proyecto con mercado creciente

Al analizar las variables determinantes del tamaño del proyecto, se planteó la necesidad de considerar el comportamiento futuro de la cantidad demandada como una manera de optimizar la decisión, no tanto en respuesta a una realidad coyuntural como a una situación dinámica en el tiempo.

Como se mencionó anteriormente, el tamaño óptimo depende, entre otras cosas, de las economías de escala que estén presentes en un proyecto. Al estar en presencia de un **mercado creciente**, esta variable toma más importancia, ya que deberá optarse por definir un tamaño inicial lo suficientemente grande como para que pueda responder en el futuro a ese crecimiento del mercado, u otro más pequeño, pero que vaya ampliándose de acuerdo con las posibilidades de las escalas de producción. El primer caso obliga a trabajar con capacidad ociosa programada, la que podría compensarse con las economías de escala que se obtendrían al operar con un mayor tamaño. Obviamente, si no hay economías de escala asociadas con un mayor tamaño, no podrá justificarse económicamente un tamaño que ocasione capacidad ociosa, a menos que una razón estratégica, como crear barreras a la entrada de nuevos competidores, así lo justifique. El segundo caso hace necesario que, además de evaluarse la conveniencia de implementar el proyecto por etapas, deba definirse cuándo debe hacerse la ampliación.

recuerde
y reflexione



En general, la demanda crece a tasas diferentes a las del aumento en las capacidades de planta, lo que obliga a elegir entre dos estrategias alternativas: satisfacer por exceso o por defecto la demanda.

En el primer caso se estará optando por mantener capacidad ociosa de producción, mientras que, en el segundo, se optará por dejar de percibir los beneficios que ocasionaría la opción de satisfacer a toda la demanda.

Con el siguiente ejemplo se expone una forma de análisis de opciones de tamaño frente a una demanda creciente en el tiempo.

Suponga que la demanda esperada en toneladas para cada uno de los próximos cinco años es la que se exhibe en el cuadro 8.1 y que la producción puede hacerse con capacidades máximas de plantas de 3 000, 7 000 y 12 000 toneladas anuales.

³ Si se expresa el VAN en función del tamaño, podría definirse la siguiente igualdad:

$$8.3 \quad \text{VAN}(T) = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t(T)}{(1+i)^t} - I(T)$$

donde BN es el beneficio neto en el periodo I .

Para calcular el punto que hace igual a cero el VAN marginal, se deriva la función de la siguiente forma:

$$8.4 \quad \frac{d\text{VAN}(T)}{dT} = \sum_{t=1}^n \frac{dBN_t(T)/dT}{(1+i)^t} - \frac{dI(T)}{dT} = 0$$

⁴ En los casos en los que se encuentren variaciones continuas en el tamaño, como por ejemplo en un oleoducto, donde el tamaño se fija a voluntad, se pueden expresar tanto la inversión como los beneficios netos en función del tamaño y derivar la función tal como se explicó en la anterior nota al pie de página.

Cuadro 8.1

Año	1	2	3	4	5
Demanda	1 500	3 000	4 500	7 500	12 000

Considérese también que el costo unitario de producción de cada planta y su distribución entre costos fijos y variables, trabajando a plena capacidad, es el siguiente:

Cuadro 8.2

Planta	Tamaño	Costo unitario	Costo fijo	Costo variable
A	3 000 ton/año	\$650	35.5%	64.5%
B	7 000 ton/año	\$540	26.3%	73.7%
C	12 000 ton/año	\$490	25.0%	75.0%

El precio de venta unitario se supondrá en \$950 para cualquier volumen de ventas y la vida útil de todas las plantas se estima en cinco años. No se ha supuesto la posibilidad de valores de desecho al término de su vida útil. La inversión asociada a los distintos tamaños de planta se presenta en el cuadro 8.3.

Cuadro 8.3

Capacidad	3 000 ton/año	7 000 ton/año	12 000 ton/año
Inversión	\$1 500 000	\$2 601 813	\$3 693 433

Si se optara por la planta con capacidad de 3 000 toneladas/año, el flujo de beneficios netos de cada año sería como se muestra en el cuadro 8.4.⁵

Cuadro 8.4

Año	Producción	Ingresos (\$)	Costo fijo (\$)	Costo variable (\$)	Flujo anual (\$)
1	1 500	1 425 000	692 250	628 875	103 875
2	3 000	2 850 000	692 250	1 257 750	900 000
3	3 000	2 850 000	692 250	1 257 750	900 000
4	3 000	2 850 000	692 250	1 257 750	900 000
5	3 000	2 850 000	692 250	1 257 750	900 000

⁵ Los ingresos se obtienen multiplicando el precio por la cantidad producida y vendida. Los costos fijos resultan de calcular 35.5% del costo total (\$650 multiplicado por las 3 000 unidades: $650 \times 3\,000 = 1\,950\,000 \times 0.355 = 692\,250$).

Similar operación se hace con los costos variables, pero aplicando el porcentaje correspondiente a las unidades efectivamente producidas.

$1\,500 \times 650 = 975\,000$

$975\,000 \times 0.645 = 628\,875$ – Año 1

$3\,000 \times 650 = 1\,950\,000$

$1\,950\,000 \times 0.645 = 1\,257\,750$ – Años 2, 3, 4, 5.

La capacidad de producción máxima de la primera opción es solo de 3 000, por lo que los ingresos operando a máxima capacidad serían: $3\,000 \times \$950 = \$2\,850\,000$.

Al actualizar el flujo resultante de esta tabla se obtiene un valor actual neto de \$1 033 473, a una tasa de actualización de 12% anual, que deberá ser comparado con el resultado que se obtendrá al actualizar las otras opciones.

Instalar una sola planta con capacidad de 7 000 toneladas/año generaría un valor actual neto de \$2 290 522 para el flujo de caja neto resultante de la proyección que se muestra en el cuadro 8.5.

Cuadro 8.5

Año	Producción	Ingresos (\$)	Costo fijo (\$)	Costo variable (\$)	Flujo anual (\$)
1	1 500	1 425 000	994 140	569 970	(166 110)
2	3 000	2 850 000	994 140	1 193 940	661 920
3	4 500	4 275 000	994 140	1 790 910	1 489 950
4	7 000	6 650 000	994 140	2 785 860	2 870 000
5	7 000	6 650 000	994 140	2 785 860	2 870 000

Para el caso de una planta con capacidad de 12 000 toneladas anuales, el flujo que puede proyectarse es el siguiente:

Cuadro 8.6

Año	Producción	Ingresos (\$)	Costo fijo (\$)	Costo variable (\$)	Flujo anual (\$)
1	1 500	1 425 000	1 470 000	551 250	(596 250)
2	3 000	2 850 000	1 470 000	1 102 500	227 500
3	4 500	4 275 000	1 470 000	1 653 750	1 151 250
4	7 500	7 125 000	1 470 000	2 756 250	2 898 750
5	12 000	11 400 000	1 470 000	4 410 000	5 520 000

El valor actual neto que podría esperarse de esta opción, a una tasa de descuento de 12% anual, sería de \$1 789 264.



Si la decisión estuviera entre los únicos tres tamaños de planta identificados, sin posibilidad de duplicar una de ellas ni de combinar entre ellas, la más conveniente sería la planta B por tener el mayor valor actual neto. Pero un análisis completo exige medir la rentabilidad de una opción combinada, ya sea de repetir una capacidad de planta o de combinar dos o más de ellas.

Por ejemplo, una posibilidad de satisfacer toda la demanda con un solo tipo de planta podría ser con una planta A los dos primeros años, dos plantas el tercero, tres el cuarto año y cuatro el quinto. Note que también debe analizarse la posibilidad de mantener dos plantas el cuarto año, dejando sin cubrir una demanda de 1 500 toneladas ese año.

De igual manera, la demanda podrá satisfacerse combinando plantas; por ejemplo, con una planta A los dos primeros años, dos plantas A el tercero y cuarto años, y dos plantas A, más una B, el quinto.

De acuerdo con lo anterior, es posible deducir que no existe un tamaño óptimo de planta cuando se enfrenta una demanda creciente, sino una estrategia óptima de ampliación que puede definirse con anticipación.

La definición del horizonte de evaluación también desempeña un rol importante en el análisis. Dado que la opción C es la que presenta mayores economías de escala, con costo unitario de \$490 trabajando a plena capacidad *versus* \$650 de la primera opción, y considerando además que la planta C es la que presenta una menor inversión relativa, fácilmente podría calcularse en qué momento o en qué horizonte de tiempo esta alternativa se iguala con la opción B. De hecho, a partir del sexto año la opción C maximiza el VAN del proyecto.

8.6. El tamaño de un proyecto con demanda constante

Un modelo menos frecuente pero útil en muchos casos en los que la información está disponible, como cuando la demanda por satisfacer es interna al proyecto (fabricación de un insumo por emplear en la elaboración del producto final), en los que se conoce la cantidad fija de demanda por atender o, incluso, en los que es una decisión propia del inversionista, es el que elige el tamaño que exhibe el menor costo medio, que corresponde al cociente entre el costo total y todas las unidades producidas.

Cuando la demanda es constante, la opción que exhiba el costo medio mínimo es la que maximiza el valor actual neto, ya que se asume que los beneficios son constantes, cualquiera que sea la configuración tecnológica que logre satisfacer el nivel de demanda dado.



Esto se demuestra representando la demanda, fija y conocida, como q_o , y expresando el valor actual neto (VAN) de un tamaño T_o como sigue:

$$8.5 \quad VAN(T_o) = \sum_{t=1}^n \frac{pq_o C_o(T_o)}{(1-i)^t} - I(T_o)$$

donde:

$I(T_o)$ = inversión para el tamaño T_o y $C_o(T_o)$ = costo de operación para el tamaño T_o .

Si se convierte la inversión en un flujo anual equivalente, **CAEI (costo anual equivalente de la inversión)**, la ecuación 8.5 se transforma en:

$$8.6 \quad VAN(T_o) = \sum_{t=1}^n \frac{pq_o C_o T_o - CAEI}{(1-i)^t}$$

Lo que puede formularse también como:

$$8.7 \quad VAN(T_o) = q_o \left(p - \frac{CT}{q_o} \right) \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1-i)^t}$$

donde

$$CT = \text{costo total} = C_o(T_o) + CAEI$$

Dado que todos los valores son constantes y conocidos, de la ecuación 8.7 se deduce que el máximo valor actual neto corresponde al menor costo medio (CT/q_o).⁶

⁶ Como se verá más adelante, es usual incorporar la depreciación contable de la inversión en los costos fijos del negocio. Esto, que es correcto para cuantificar el costo del producto y también para fines tributarios, no lo es para la evaluación de opciones financieras, ya que, si se incluyen, se estaría considerando dos veces el efecto de la inversión. En los capítulos de construcción de flujos de caja y de evaluación del proyecto se analiza detalladamente este punto.

Por ejemplo, si una empresa está estudiando la viabilidad de fabricar los 30 000 envases diarios que hoy compra a proveedores externos y que requiere para su producción normal, e identifica los siguientes cinco tamaños de planta que podrían satisfacer su demanda normal, debería optar por un tamaño de planta D, ya que es donde el costo medio se minimiza, lo cual se aprecia en el cuadro 8.7.

Cuadro 8.7

Planta	Capacidad	Costo medio	Nivel operación
A	10 000	48	3 turnos/día
B	15 000	52	2 turnos/día
C	20 000	51	1.5 turnos/día
D	30 000	46	1 turno/día
E	40 000	47	1 turno/día y 75% capacidad

Obviamente, al existir una demanda constante, la solución se logra tanto con el mínimo costo medio como con el mínimo costo total.⁷

⁷ Cuando los beneficios son constantes, muchas personas mencionan un "VAC" para referirse a un valor actual de los costos. Es obvio que si los beneficios son iguales para distintas capacidades de planta, la opción que exhiba el menor valor actualizado de los costos será igual a la que tenga el mayor valor actual neto.

Resumen

El capítulo 8 se abocó al desarrollo de uno de los aspectos más importantes y difíciles de la formulación de un proyecto: su tamaño. Muchos son los factores que influyen en la determinación de lo que pueda considerarse tamaño óptimo de la inversión, destacándose la demanda, la disponibilidad de insumos, la capacidad financiera del inversionista y el crecimiento de la competencia, entre muchos otros. No obstante, esta decisión puede ser muy simple o compleja, dependiendo de la demanda y de los distintos tamaños de tecnología en cuanto a capacidad, en cuyo caso pudiera generarse una multiplicidad de combinatorias que deberán analizarse tanto desde el punto de vista cuantitativo como del estratégico.

El tamaño mantiene una estrecha vinculación con la cuantía de las inversiones, los costos de operación y los niveles de venta. Esto hace que muchas veces la magnitud de la rentabilidad de un proyecto dependa de la correcta determinación del tamaño. Entre otras cosas, porque el tamaño se asocia con efectos de economías de escala que, si bien pueden ser atrac-

tivas para la disminución de los costos medios de producción, deben ser cuidadosamente analizadas debido a sus implicaciones en los niveles de capacidad ociosa que pudiese generar el proyecto. Este punto se manifiesta más complejo si a las consideraciones se agrega la variable estratégica de buscar la creación de barreras a la entrada de nuevos competidores al mercado, al mantener una capacidad de oferta superior a la cantidad demandada que pudiera esperarse para el proyecto.

La maximización del valor actual neto es, como para muchas decisiones, determinante en la elección de la opción de tamaño. Aunque es posible la búsqueda de este óptimo por la determinación del tamaño que hace máximo el valor actual neto o que hace la tasa interna de retorno marginal igual a la tasa de descuento del proyecto o que hace el valor actual neto incremental igual a cero, en la práctica lo más frecuente es la primera de estas opciones, porque generalmente el número de tamaños posibles es limitado.

Cuando el tamaño debe enfrentar un mercado creciente, es posible tener que decidir si



se seguirá una estrategia que satisfaga la demanda por exceso o por defecto, aunque sea por periodos parciales. Esto ocurre porque el crecimiento del mercado es en tasas diferentes a las del aumento que pudiera seguirse en la adecuación de las capacidades de planta.

Cuando la demanda es constante, lo más frecuente es el análisis de la opción de mínimo costo medio, aunque se llega a igual resultado si se busca el menor costo total.

Preguntas y problemas

1. Señale los principales factores que determinan el tamaño de un proyecto.
2. Explique en qué casos la determinación del tamaño óptimo resulta más compleja y por qué.
3. ¿Cuál es el principal factor de decisión en el estudio del tamaño de una planta para fabricar los insumos que ocupa y que hoy compra una empresa en funcionamiento?
4. ¿Por qué puede la estrategia comercial que se defina para el proyecto ser más importante que la cantidad demandada al definir el tamaño más adecuado para un proyecto?
5. Señale un caso en el que el tamaño genere claramente economías de escala y otro donde genere deseconomías de escala.
6. ¿En qué caso las economías de escala, aunque existan, no juegan ningún rol en la decisión?
7. Explique las relaciones que existen entre la tasa interna de retorno marginal, el valor actual neto incremental y el valor actual neto máximo en el punto donde el tamaño se hace óptimo.
8. ¿Qué hace diferente los análisis que deben hacerse para estudiar los tamaños óptimos con mercado creciente y con mercado constante?
9. En la fabricación de un producto se sabe que la inversión necesaria para una planta con capacidad para elaborar 1 000 unidades diarias es de \$250 000 000. Si el factor de escala es 0.8, ¿cuál es el costo que debe hacerse para construir una planta de 2 000 y 3 000 unidades diarias?
10. En un informe de costo de construcción y equipamiento de una pequeña planta industrial se señala que la inversión necesaria para poder fabricar 13 000 unidades anuales de un producto es de \$68 000 000, mientras que para fabricar 30 000 unidades es de \$120 000 000. Determine el factor de escala.
11. Demuestre que la decisión sobre el tamaño óptimo entre las tres siguientes opciones es la misma, ya sea empleando el criterio de maximización del valor actual neto o los de minimización de los costos totales y de los costos medios.

Planta	Tamaño	Inversión (\$)	Costo unitario (\$)
A	900 u/día	1 000 000	140
B	1 800 u/día	1 700 000	300
C	2 700 u/día	2 500 000	450

La producción requerida es de 2 700 unidades al día, lo que se logra haciendo trabajar tres turnos a la planta A, un turno y medio a la planta B y un turno a la planta C.

Todos los productos se valoran en \$1 200, la tasa de descuento para el proyecto es de 12% anual, la vida útil de todas las plantas es de cinco años sin valor de desecho y no se incluye la depreciación de la planta en el cálculo de los costos de operación unitarios.

Comente las siguientes afirmaciones:

- a) El tamaño propuesto solo debe aceptarse en caso de que la demanda sea claramente superior a dicho tamaño.

- b) Al aumentar la producción y las ventas puede pasarse de una situación con rentabilidad positiva a otra negativa.
- c) En el cálculo del costo medio deben considerarse todos los costos fijos del producto, incluida la depreciación.
- d) La mayor producción de un bien que presenta una demanda creciente y que tiene un margen de contribución positivo siempre implicará que se incremente la utilidad y rentabilidad del proyecto.
- e) El concepto de capacidad máxima representa una información de gran utilidad para la determinación del tamaño, puesto que en el caso de que un equipo esté trabajando a plena capacidad normal, el uso intensivo máximo de este constituye el mecanismo usual de solución ante una mayor cantidad demandada.
- f) Cuando una tecnología está produciendo a menor capacidad de la que sus instalaciones le permiten, la empresa siempre deberá utilizar esa capacidad ociosa.
- g) Al entregar antecedentes proyectados de la demanda, el estudio de mercado ha cumplido su misión, por lo que el proceso tecnológico deberá preocuparse de satisfacer lo que el estudio de mercado estableció.
- h) Cuando se produce una situación en la que la capacidad instalada no es capaz de producir lo que el mercado demanda, la única alternativa es la de efectuar nuevas inversiones destinadas a producir la mayor demanda existente en el mercado.
- i) Cuando una empresa que dispone de diversas plantas de producción en distintas localidades aprecia que la demanda será decreciente en 10% para los siguientes tres años, disminuirá la producción en cada una de ellas en ese mismo porcentaje a fin de adecuar la oferta con la demanda.
- j) La búsqueda del tamaño óptimo se logra estudiando los costos que le representaría al proyecto hacer frente al aumento de producción. De esta manera, al existir distintas alternativas para hacer frente a los nuevos requerimientos del mercado, el preparador y evaluador de proyectos recomendará aquella que represente el menor valor actual de costos (VAC).
- k) En el estudio de un proyecto pudo constatar que la demanda crecería en 50% el quinto año de funcionamiento de la empresa, manteniéndose constante para el resto del proyecto. Para los primeros cuatro años la capacidad instalada inicial permitirá hacer frente a los aumentos que ocurrirían en esos años; pero al quinto año sería necesario hacer nuevas inversiones. Sin embargo, si se adquiere al inicio del proyecto una tecnología de mayor capacidad, esta podría producir el incremento requerido de 50% al quinto año y los sucesivos hasta el horizonte del proyecto. Al considerar que las dos opciones resuelven el problema de tamaño, el preparador y evaluador del proyecto podrá optar indistintamente por cualquiera de las dos opciones.
- l) La tasa de descuento que deberá utilizarse para determinar el tamaño del proyecto dependerá de las características del proceso productivo. De esta manera, la tasa no puede ser la misma para el caso de estudiar una alternativa de uso intensivo de mano de obra para el aumento de producción que una alternativa de incrementar la inversión en tecnología. Los proyectos de uso intensivo en tecnología o mano de obra deberán tener tasas diferenciadas considerando que los riesgos de obsolescencia tecnológica son distintos a los riesgos inherentes a la mano de obra.
- m) Si se producen deseconomías de escala al aumentar las inversiones para hacer frente a un aumento de la demanda, el proyecto deberá bajar el precio del bien con el fin de utilizar siempre la capacidad instalada y así mejorar la rentabilidad.

Caso: Baldosines Cerámicos Ltda.

En la formulación de un proyecto para crear y operar la futura fábrica de baldosas Baldosines Cerámicos Ltda., busca determinarse cuál es el tamaño de la planta o la combinación de plantas más apropiada para satisfacer la demanda esperada para los siguientes cinco años. Según los resultados de la investigación del mercado de baldosines, la empresa que se crearía con el proyecto podría enfrentar una posibilidad de ventas como la que se muestra a continuación.

Año	1	2	3	4	5
Demanda	1 400	2 500	5 500	7 500	9 500

El estudio técnico logró identificar que la producción de los baldosines en los niveles estimados puede fabricarse con uno o más de tres tipos de plantas, cuyas capacidades de producción en situaciones normales son las siguientes:

Planta	Capacidad (b/día)
A	2 500
B	6 000
C	9 500

El costo unitario de producción y su componente proporcional fijo y variable para el nivel de operación normal es conocido y se muestra en la siguiente tabla:

Planta	Costo unitario	% costo fijo	% costo variable
A	\$62	33.3	66.7
B	\$48	25.4	74.6
C	\$46	23.0	77.0

Se estima que el precio de venta de cada una de las unidades producidas ascenderá a \$85, cualquiera que sea el número fabricado y vendido.

La vida útil máxima de cada planta se estima en cinco años. Ninguna de ellas tiene valor de desecho, cualquiera que sea la antigüedad con la que se liquiden.

La inversión necesaria para construir y equipar la planta A se calculó en \$120 000. Aunque no se contrató un estudio para cuantificar el monto de la inversión en las plantas B y C, se sabe que un buen estimador es aplicar un factor de escala de 0.75.

Uno de los puntos que más interesa aclarar es si será más conveniente construir una única planta que satisfaga la totalidad o parte de la demanda proyectada, buscar una combinación de dos o más tipos de planta o buscar otra opción, como construir una segunda planta igual a la inicial cuando crezca la demanda.

Los dueños del proyecto desean producir cada año la cantidad exacta proyectada para la demanda. También esperan un retorno mínimo a la inversión de 15 por ciento.

Con base en estos antecedentes, ¿qué opciones existen? ¿Cuál es la más conveniente? ¿Qué otras consideraciones deberían incluirse para una mejor decisión?

Material complementario

Ejercicios recomendados del texto complementario: José Manuel Sapag, *Evaluación de proyectos, guía de ejercicios, problemas y soluciones*, McGraw-Hill, 3a. ed., 2007:

31. Envases plásticos flexibles, **32.** Chancado de caliza, **33.** Emsan

Bibliografía

Curry, Steve y John Weiss, John, *Project Analysis in Developing Countries*, Palgrave, 2000.

Fuentes, Fernando, *Análisis técnico para proyectos de desarrollo*, 2a. edición, San José, INDES, 1992.