

## ANÁLISIS ECONÓMICO E IMPACTO AMBIENTAL

Un proyecto de climatización no puede considerarse terminado hasta no tener una confiable y completa información sobre los desembolsos económicos y los gastos que deban realizarse; pero lo anterior no debe interpretarse solo como una necesidad de información puntual-final sino como un insumo que permanentemente está en la mesa de discusiones, y que a veces orienta las tendencias del proyecto. Fundamentalmente las inquietudes a resolver tienen que ver con vida útil de los equipos, inversiones de capital para adquisiciones, costos de operación y mantenimiento, y sobre cuál, entre varias alternativas, es la más atractiva desde el punto de vista económico (renglón en el que cabe estimar si un cambio específico se justifica contablemente). Aunque rara vez se ha tenido en cuenta, adquiere mayor importancia el impacto ecológico que un proyecto causa; una buena medida de ese impacto está relacionado con las toneladas de CO<sub>2</sub> producidas por las actividades y los consumos incurridos. Este capítulo repasa los principios de ingeniería económica aplicables a la solución de estas necesidades, y enseña cómo cuantificar de una manera sencilla el CO<sub>2</sub> producido.

### VIDA DEL PROYECTO

Como “el proyecto” es el edificio, habrá necesidad de diferenciar entre la vida del proyecto general (el edificio) y la vida de las facilidades de climatización. Aunque alguien pueda alegar que son iguales, pues no se concibe un edificio hoy climatizado y mañana no, es claro que un equipo de climatización, que tiene por lo general una duración entre corta y media, puede ser reemplazado por equipos distintos (por ejemplo, por obsolescencia) y hasta por sistemas distintos.

Vida del edificio. La duración de un edificio se proyecta dependiendo de su función. La Tabla 9.1 da razón de la permanencia de los inmuebles.

*Tabla 9.1. Vida útil de diseño (VUD) por categoría o tipo de edificios.*

Categoría de edificios	Vida útil de diseño por categoría (años)	Ejemplos
Temporales	Hasta 10	Construcciones no-permanentes, oficinas de ventas, edificios de exhibición temporal, construcciones provisionales
Vida media	25 - 49	La mayoría de los edificios industriales y la mayoría de las estructuras para estacionamientos
Vida larga	50 - 99	La mayoría de los edificios residenciales, comerciales, de oficinas, de salud, de educación
Permanentes	Más de 100	Edificios monumentales, de tipo patrimoniales (museos, galerías de arte, archivos generales, etc.)

Fuente: Canadian Standards Association, 2001; Australian Building Codes Board, 2006; International Standards Organization, 2000, Ref. [118].

**Vida del sistema climatizador.** La duración de los equipos climatizadores (AA por expansión directa, chillers, paquetes, enfriamiento evaporativo, ventiladores, etcétera) y de sus complementos (ductería, tuberías, aislamientos, ruedas entálpicas, deshidratadores, humectadores, controles automatizados, etcétera) depende de varios factores: la calidad seleccionada (marca), la dedicación de uso a la que se someta (# de horas de funcionamiento diario), el ambiente de trabajo (polvo, intemperie, calidad del suministro eléctrico...), y el mantenimiento que se le preste. La percepción general es que la vida media de esta clase de equipo está entre 6 y 10 años, Ref. [119], [120].

## INVERSIÓN DE CAPITAL

La mejor información sobre la inversión a realizar es la que ofrece una cotización formal. Sin embargo este documento solo está disponible inmediatamente antes de comenzar la fase de ejecución, mientras que la referida información, el monto de la inversión, vital para la toma de decisiones, se necesita —así sea aproximada— desde la primera fase del proyecto. De acuerdo con [121] los estimados iniciales tienen incertidumbres del orden de 50% o superiores, y en la medida en que se afinan detalles este valor se reduce hasta el rango 10% a 30%.

El primer y más elemental estimado, ya lo relatamos, se manufactura con los índices globales que el medio local maneja al respecto. Por ejemplo, para el entorno técnico local colombiano una alternativa de AA en expansión directa está en el orden de 2 MM\$/TR, mientras en agua fría alcanza 4 MM\$/TR; un sistema de enfriamiento evaporativo completo instalado cae entre 2 y 2.5 MM\$ por cada 1500 cfm; un ventilador centrífugo nacional cuesta entre 7 y 7.5 MM\$ por cada 5000cfm; etcétera.

En la medida en que el diseño se perfila más claramente, se dispone de un conocimiento más definido no solamente respecto del número y la naturaleza de los equipos, sus capacidades y sus dimensiones, sino también de las preferencias relativas a marcas, acabados y especificaciones, y también de los sistemas auxiliares de suministro de servicios, seguridad y control. Por ejemplo, en una solución de aire acondicionado sistema agua-agua se deben inventariar para contabilidad de inversiones: 1. Obra mecánica: chiller(s), torre(s) de enfriamiento, tanque(s), manejadora(s) o *fancoils*, bombas, tuberías, ducterías, rejillas, filtración, aislamientos; 2. Obra civil: cimientos o fundaciones, estructuras, casetas de alojamiento; 3. Obra eléctrica: tableros, *breakers*, contactores, protecciones, conduits, conductores, tierras, iluminación; 4. Obra hidráulica y sanitaria: suministro de agua, *sprinklers*, drenajes; 5. Obra de seguridad y control: instrumentos de medición (flujo, amperaje, temperatura, presión, nivel, humedad, etc.), unidad de control (con su lógica de control y comunicaciones), alarmas visuales y sonoras, *conduits* y cableados. Cada uno de los ítems anteriores se debe cuantificar (así sea aproximadamente) según su tipo (#unidades, m<sup>2</sup>, gpm@ftH<sub>2</sub>O, cfm@pgca, etcétera) y especificar la calidad o marca. Sobre la base anterior, y de acuerdo con una base de datos (precios) actualizada, se liquida un presupuesto que deberá tener en cuenta los aumentos por AIU (administración, imprevistos (10 a 15%), utilidad (15 a 20%)), IPC, e IVA. Un cuidado a observar es que no se contabilice doblemente un desembolso; por ejemplo, el suministro de agua puede haber sido asignado al proyecto sanitario, y no debe contabilizarse en este balance.

### CASO BASE

Las inversiones de capital para las tres alternativas del *Caso Base* comienzan por evaluar las modificaciones locativas para evitar cargas que aplican a las dos últimas: pintura, hiedra y cortasoles. Otras adquisiciones importantes son los equipos climatizadores. La Tabla 9.2 muestra las inversiones iniciales de las tres alternativas.

**Pintura.** Área a pintar: techo sala 36.3 m<sup>2</sup>; techo alcoba 13.4 m<sup>2</sup>; pared soleada oeste hacia salas: 54.2 m<sup>2</sup>; pared soleada sur: 11.9 m<sup>2</sup> hacia salas y 7.9 m<sup>2</sup> hacia alcoba posterior; pared no-soleada este: 14.2 m<sup>2</sup>. Total: 36.3+13.4+54.2+11.9+7.9+14.2=138 m<sup>2</sup>. Rendimiento pintura: 8.5 m<sup>2</sup>/litro; aumentar al doble pues son dos manos. Entonces, pintura necesaria:  $138 \times 2 / 8.5 = 33$  lts (9 gal); costo litro: 11 \$; costo pintura:  $33 \times 11 = 363$  \$<sup>3</sup>. Mano de Obra: maestro y ayudantes, 6 días de trabajo, salarios y prestaciones para un total de \$1'000. Alquiler de andamios, 6 cuerpos por 6 días para un total de \$240. Insumos (brochas, limpiadores) \$300. Con imprevistos del 20% Mano de Obra tiene un costo de \$1'849. Inversión obra pintura (sin AIU)= pintura + MdeO = 363 + 1'849 = 2'212 \$. **PARED VERDE (HIEDRA):** Pared oeste 94.2 m<sup>2</sup>, costo siembra y materiales, sin incluir AIU: 448 \$. **CORTASOLES:** la cotización actualizada para el sistema de cortasoles mostrado, sin AIU es 3'021 \$.

**Aire acondicionado y enfriamiento evaporativo.** Estos equipos, de las mejores marcas, fueron cotizados y son de consecución local. Tándem una condensadora con dos *fancoils*: 6'600 \$; *minisplit* de 1TR: 1'125 \$; enfriador evaporativo: US \$188 (FOB); en sitio = 1'150 \$.

### **COSTOS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, COMBUSTIBLES Y SERVICIOS**

Los egresos periódicos en que se incurre para tener procesos industriales funcionando pueden dividirse en costos fijos y costos variables. La magnitud de estos últimos, a diferencia de los primeros, depende del *factor de planta* (fracción del tiempo en que se trabaja a carga plena). Como costos fijos se clasifican: mano de obra operarios producción, mano de obra operarios mantenimiento, materiales para mantenimiento, administración, distribución y mercadeo, desarrollo e investigación. Como costos variables están: materias primas, materiales de consumo diversos para operación (no llegan a formar parte del producto), disposición de sobrantes. En los costos de combustibles y servicios deben incluirse los consumos de energía eléctrica, agua corriente y comunicaciones.

---

3 Costos en miles.

Tabla 9.2. Inversiones iniciales en las distintas alternativas.

		AA (6.5tr)	Pasivas+mi-ni-splits AA(2tr)	Pasivas+Enfriador Evaporativo (1.3tr)	
Obras acondicionamiento pasivo (pintura, hiedra, cortasoles) AIU sumado al final			5'681	5'681	
Obra mecánica	Chillers				
	Torres de enfriamiento				
	Tanques				
	Manejadoras, fancoils, condensadoras	2 fancoils, 1 condens. = 6'600	2 minisplits = 2'250	2 enfriadores evap. = 2'300	
	Bombas				
	Tuberías	12m, 1/4Cu= 240	10m, 1/4Cu=200	12m, 1/2pvc= 180	
	Ducterías + rejillas	14m <sup>2</sup> , fbr-glass=1'700			
	Filtros y limpieza	12", 4u= 300			
	Aislamientos				
Obra civil	Cimientos+ fundaciones	Global= 350	Global= 350	Global= 350	
	Estructuras	2u= 280	2u= 280	2u= 280	
	Casetas de alojamiento				
Obra eléctrica	Tableros	1u= 120	1u= 120	1u= 120	
	Breakers	2u= 220	2u= 220	2u= 220	
	Contactores	2u= 160	2u= 160	2u= 160	
	Protecciones				
	Conduits, conductores, tierras	24mx3#12+ 18m, 1/2pvc= 620	20mx3#12+ 14m, 1/2pvc= 550	24mx3#12+ 18m, 1/2pvc= 620	
	Iluminación				
Obra hidráulica y sanitaria	Suministro de agua			Ya contabilizado	
	Sprinklers				
	Drenajes		6m, 1"pvc= 160		
Obra de seguridad y control	Instrumentos de medición	Flujo			
		Amperaje			
		Temperatura			
		Presión			
		Nivel			
		Humedad			
		Otros			
	Unidad de control	2u= 300	2u=300	2u= 300	
	Alarmas	Visuales			
		Sonoras			
Otros 6m= 120	Conduits				
	Cableados	6m= 120			
SUBTOTAL \$		11'010	10'231	10'491	
AIU \$		2'753	2'558	2'623	
<b>TOTAL \$</b>		<b>13'763</b>	<b>12'789</b>	<b>13'114</b>	

En el campo de la climatización de edificios lo más corriente es tener un contrato de mantenimiento con una firma especializada, la que periódicamente revisa y ajusta los elementos mecánicos como transmisiones, lubrica chumaceras, chequea niveles de vibración, hace limpieza de serpentines, cambia filtros, comprueba amperajes y cambia por daño o por prevención elementos sujetos a desgaste. El costo anual de estos contratos incluyendo repuestos puede estar entre el 10% y el 20% del precio de adquisición del equipo. En los casos de edificios grandes y complejos, por ejemplo grandes clínicas, se justifica la contratación de personal encargado para operación y mantenimiento, luego se contabiliza igual al caso industrial. Para cuantificar confiablemente los costos de consumo eléctrico se debe medir el amperaje en el totalizador y calcular de acuerdo con el número de horas diarias de funcionamiento y la tarifa operante. En otra modalidad, la forma aproximada, se pueden sumar las potencias nominales de componentes y aplicar un factor de diversidad que puede estar entre 0.7 y 0.85.

### CASO BASE

Para las tres alternativas del *Caso Base* los costos periódicos incurridos en cada modalidad se muestran en la Figura 9.1. Los precios de los contratos de mantenimiento se cotizaron con firmas locales; las potencias se extrajeron de los catálogos de los equipos seleccionados (que en cada caso son: AA 7.5 [kW], minisplits 2.5 [kW], y enfriador 0.25 [kW]); el funcionamiento es 8 [h/día] = 2920 [h/año]; la tarifa EPSA para el estrato es 408 [\$/kW-h].

Figura 9.2. El gasto correspondiente es: Costo anual electricidad = Potencia [kW] \* 2920 [horas por año] \* 408 [\$/kW-h] (tarifa).

**Tabla 9.3. Comparación evaluación de proyectos para diferentes alternativas.**

	AA [\$/año]	Pasivas + minisplits AA [\$/año]	Pasivas+enfriador evaporativo [\$/año]	
Costos fijos	Mano de obra operarios producción			
	Mano de obra operarios mantenimiento			
	Materiales para mantenimiento			
	Administración			
	Distribución y mercadeo			
	Desarrollo e investigación			
	Otros: contrato de mantenimiento	1'000	500	600

Continúa

		AA [\$/año]	Pasivas + minisplits AA [\$ /año]	Pasivas+enfriador evaporativo [\$ /año]
Costos variables	Materias primas que no son parte del producto			
	Materiales de consumo diversos para operación			
	Disposición de sobrantes			
	Otros			
Combustible y servicios	Combustibles			
	Energía eléctrica	8'935	2'978	299
	Agua corriente			
	Comunicaciones			
	Otros			
TOTAL [\$/año]		9'935	3'478	899

Se puede apreciar gran diferencia en un ítem tan importante!

**EPSA** hogares

Inicio Nosotros Oficina para inversionistas Clientes Proveedores Responsabilidad social Fundación EPSA Ruta de la energía Sala de prensa Servicios

Informes Tarifas Residenciales

### Tarifas EPSA Abril 2012

La Empresa de Energía del Pacífico S.A. E.S.P. EPSA E.S.P informa a sus clientes en el VALLE DEL CAUCA, conectados a sus redes, las tarifas de prestación del servicio de energía eléctrica vigentes, calculadas con base en las resoluciones CREG 031 y 079 de 1997, 112 y 159 de 2001, 108 de 2003, 001, 019 y 119 de 2007, 017, 058, 068, 070, 097 y 133 de 2008, 010 DE 2009, 024, 116, 149 y 186 de 2010 y Resoluciones UPME 0355 de 2004 y 013 de 2005.

CS :Consumo de Subsistencia es 173 kWh/mes en municipios con altura inferior a 1000 msnm y 130 kWh/mes en otros. En Barrios Subnormales CS es 184 kWh/mes en municipios con altura inferior a 1000 msnm y 138 kWh/mes en otros.

Estrato	1.1. Clientes con tensión primaria a 13.2 kv, propiedad de EPSA (CU1-2 con Inv.)		1.2. Clientes con tensión primaria a 13.2 kv, propiedad del Cliente (CU1-2 sin Inv.)	
	0-CS kWh/mes (\$/kWh)	Consumo mayor a CS kWh/mes (\$/kWh)	0-CS kWh/mes (\$/kWh)	Consumo mayor a CS kWh/mes (\$/kWh)
1	163,36	408,39	146,96	367,40
2	204,20	408,39	183,70	367,40
3	347,13	408,39	312,29	367,40
4	408,39	408,39	367,40	367,40
5 y 6	490,07	490,07	440,88	440,88

Barrios subnormales : el costo de la energía subsidiada es \$147,52 /kWh y \$329,67 /kWh para el consumo restante. Mediciones comunitarias en tensión 2 y estrato 1 : el costo de la energía subsidiada es \$137,41 /kWh Para mediciones comunitarias en tensión 2 y del estrato 1, el costo de la energía subsidiada es y para el resto es \$305,83 /kWh.

Figura 9.1. Tarifas de electricidad en el Occidente Colombiano.  
Junio 2017.

## ELEMENTOS DE INGENIERÍA ECONÓMICA

**El valor del dinero en el tiempo**

Siempre que se realizan proyecciones económicas a lo largo de un período prolongado es necesario tener muy en cuenta el poder adquisitivo del dinero a lo largo del tiempo. Un préstamo que se hace para cubrir una inversión inaplazable se refleja en una serie de pagos que suman considerablemente más que la cantidad recibida originalmente. Y es que el prestamista ha tenido claro que el servicio oportuno que ha proporcionado tiene que rendirle una ganancia. Entonces, para poder hacer apropiadas evaluaciones económicas de largo plazo se necesitan los métodos que permiten conocer los significados de los diversos ingresos y egresos hechos a través de toda la vida útil del proyecto en consideración. Para el caso de las facilidades de climatización en una edificación serán suficientes los conceptos de interés compuesto, valor presente, valor futuro, anualidad, costo capitalizado, e inflación. La nomenclatura aquí empleada es la de la ref. [121].

**Tasa de Interés**, o simplemente **Interés**, o **Tasa de Retorno**, es la compensación pagada por el uso del dinero prestado. Aunque en el lenguaje coloquial el interés es referido como un porcentaje, en las fórmulas se toma como un decimal (11% es 0.11).

**Valor Futuro**. Si  $P$  pesos (\$) [**Valor Presente**] se depositan hoy en una cuenta que rinde un interés  $i$  en cada período, y este interés es compuesto a lo largo de  $n$  períodos, ver la

Figura 9.2, la cuenta tendrá al final un valor futuro  $F$  según:

$$F = P \cdot (1 + i)^n$$

**Frecuencia del Interés**. En la práctica más usual de mercados, el interés se liquida con base anual, pero también ocurre que puede cobrarse  $p$  veces en el año. En este caso la ecuación anterior se escribe:

$F = P \cdot (1 + i/p)^{np}$  donde:  $np$  es el número total de períodos;  $i/p$  es la tasa de retorno del período;  $i$  es la tasa nominal de retorno (ver

Figura 9.2)

**Interés Efectivo Anual**. Es la tasa de retorno anual que entrega los mismos resultados que el interés cobrado  $p$  veces en el año. Así definida resulta mayor que la nominal. Ver

Figura 9.2. De las ecuaciones anteriores queda:

$$i_{\text{eff}} = (1 + i/p)^p - 1 \text{ o también}$$



$i_{eff} = e^i - 1$  cuando se usa *interés compuesto continuo* ( $p \rightarrow \infty$ )

**Período menor que un año.** En ese caso el valor futuro se calcula mediante:

$$F = P * (1 + n i_{eff}) \text{ donde } n \text{ es fracción de 1}$$

(ver Figura 9.2)

**Valor Presente P.** Frecuentemente en evaluaciones económicas lo más significativo y deseable de conocer es el valor actual de todos los ingresos y/o egresos que se tendrán a lo largo de la vida del proyecto. Ver

Figura 9.2. Según las ecuaciones mostradas, el valor equivalente actual de una cantidad futura es:

$$P = F * (1 + i_{eff})^{-n}$$

**Anualidad A.** Anualidad es una serie de transacciones de igual valor que ocurren en intervalos iguales (períodos). Esta modalidad es frecuente, y se usa por ejemplo para pagar una deuda, o para contabilizar los costos fijos, etc. Se clasifica como:

**Anualidad Ordinaria.** La más común, es aquella en donde las transacciones ocurren al final de cada período. Ver

Figura 9.2. Su equivalencia con el valor futuro está dada por:

$$F = A * [(1 + i_{eff})^n - 1] / i_{eff}$$

Anualidad con ejecuciones al principio de los períodos. Ver

Figura 9.2. En este caso la equivalencia con el valor futuro se expresa mediante:

$$F = A * [(1 + i_{eff})^{n+1} - (1 + i_{eff})] / i_{eff}$$

**Costo Capitalizado ( $C_K$ ).** Un activo con costo inicial  $C_{FC}$  y vida económica de  $n$  años se desea reemplazar a perpetuidad. Ver

Figura 9.2. El **Costo Capitalizado**  $C_K$  es el costo inicial más el Valor Presente de los egresos periódicos que permite el reemplazo del activo cada  $n$  años por toda la eternidad. Si el valor de salvamento  $S$  es cero se tiene:

$$C_K = C_{FC} * \{ (1 + i_{eff})^n / [(1 + i_{eff})^n - 1] \} + C_Z / i$$

**Inflación.** La inflación es el aumento en los precios de los productos del mercado, cuyo origen está en los incrementos en la moneda circulante y en el crédito, sin los incrementos que debían corresponder en bienes y servicios disponibles, ref. [122]. La inflación se registra mediante el Índice de Precios al Consumidor IPC, que es publicado periódicamente.

La inflación no es la única causante en el cambio de precios; factores como el incremento de la demanda, el agotamiento de recursos naturales y el desarrollo tecnológico también influyen, pues los dos primeros los aumentan y el último los disminuye. El efecto de la combinación de estos tres elementos se llama *escalamiento*.

La **Tasa de Interés Real** es el dinero pagado por el uso del capital sin incluir el ajuste general de precios debido a la inflación, pero sí incluye el interés nominal. Un análisis económico puede hacerse en *pesos corrientes* si se tiene en cuenta la inflación, o en *pesos constantes*, cuando se excluye la inflación y se consideran solo el escalamiento y el costo real del dinero en el tiempo. Ambos análisis tienen ventajas y desventajas.

**Supuestos en el Tiempo.** En todo análisis económico cada movimiento financiero debe ser escalado a la fecha en que es ejecutado. Para cumplir con ese postulado en el proyecto de climatización será necesario ubicar los distintos desembolsos, que naturalmente deben ser definidos para cada caso particular. Para el proyecto ejemplo *CASO BASE* que se desarrolla hemos hecho los siguientes supuestos:

- El período de diseño se estima en un año: el primero.
- La fase de construcción en obra negra se da en el segundo año.
- Las inversiones en equipo se dan en el comienzo del tercer año.
- Los gastos de operación y mantenimiento se ubican en la mitad de cada año de vida útil.
- El valor de salvamento es cero.

### **Comparación de Alternativas de Inversión**

Cuando se trata de proyectos en donde se dan ingresos y egresos, y donde compiten alternativas mutuamente excluyentes, antes de tomar decisiones es necesario identificar cuál opción es la que produce mejores rendimientos. Aunque riesgos e incertidumbres son parte constitutiva de estas actividades, el análisis que se da a este nivel es de tipo determinístico, esto es asumiendo certeza y estabilidad en los datos y los procesos. Existe para estos casos un abanico de métodos de comparación aproximados y exactos, como el Período de Reembolso, la Tasa Interna de Retorno, el Valor Presente Neto, etcétera.

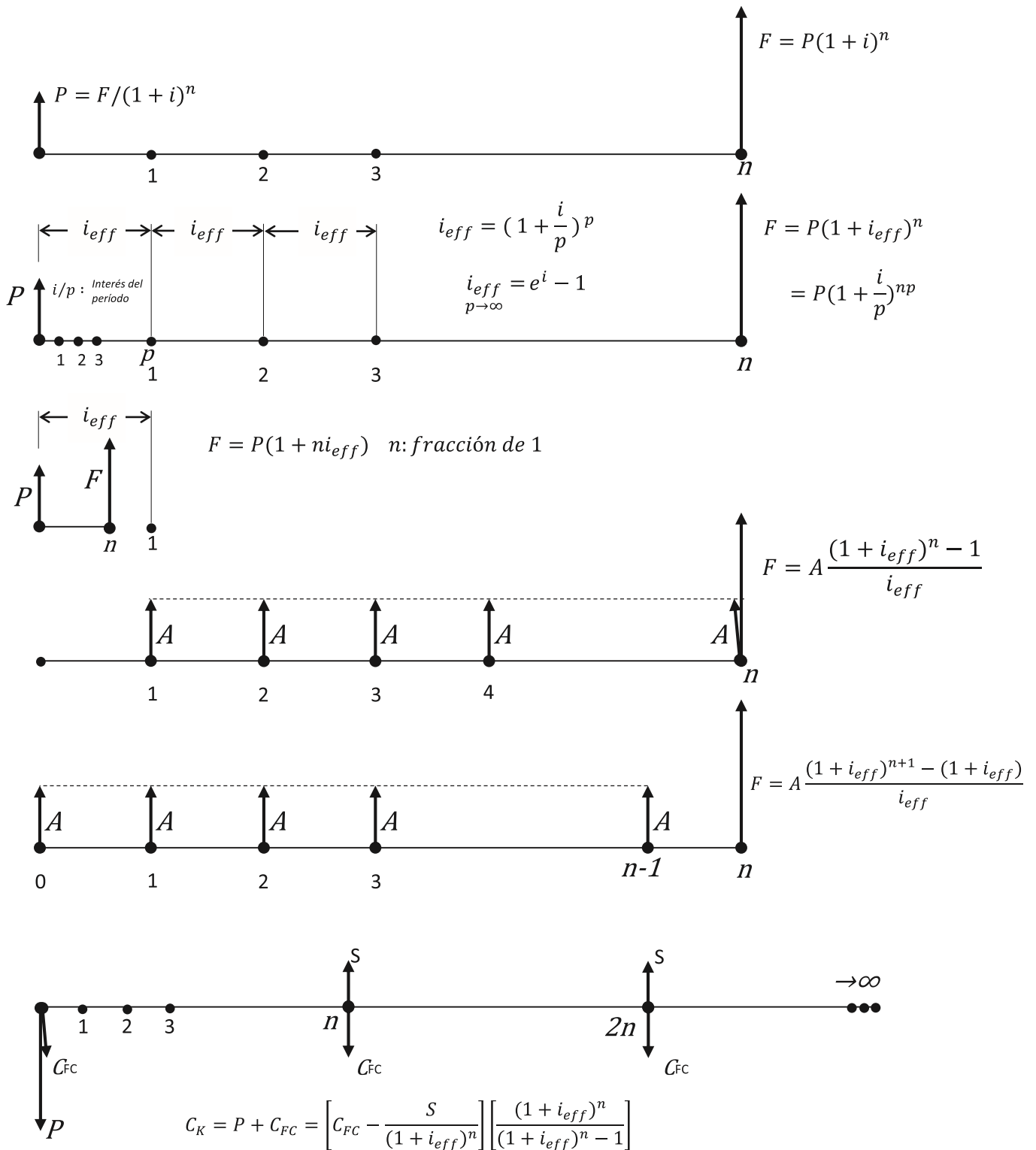


Figura 9.2. Distintas equivalencias del dinero en el tiempo.

En proyectos de climatización la comparación se simplifica en gran medida pues al no existir ingresos las pesquisas se limitan a enfocarse en identificar la alternativa que represente menores erogaciones. Es de anotar que se presentan dos posibilidades: instalaciones con vidas iguales e instalaciones con vidas diferentes.

**Vidas Iguales.** Dentro de varios sistemas climatizadores la mejor alternativa, desde el punto de vista meramente económico, es aquella cuyo **Valor Presente Neto** de egresos sea el menor de todos.

**Vidas Distintas.** Cuando existen alternativas compitiendo con diferentes vidas, se hace necesario llevarlas todas a una misma base u horizonte de planificación. Esto puede darse mediante la **Aproximación por Repetición**, la **Aproximación por Co-terminación** o la **Aproximación por Vida Infinita**. Una vez reducidas al escenario común se aplica el criterio del **Valor Presente Neto**.

**Aproximación por Repetición.** Consiste en definir un horizonte cuya duración es igual al mínimo común múltiplo de las vidas de las alternativas. En cada caso particular las magnitudes de los egresos se repiten en las sucesivas nuevas vidas de toda la extensión. Este método puede ser demasiado laborioso y no siempre realista.

**Aproximación por Co-terminación.** En esta propuesta se escoge arbitrariamente un horizonte cualquiera (por ejemplo, menor o igual que la vida más corta, mayor o igual que la más larga, intermedio, etc.). Posteriormente se calcula el valor de salvamento de las instalaciones al final del horizonte como ingreso económico de la alternativa, y se aplica el método de evaluación, Valor Presente Neto en este caso. El valor de salvamento puede ser el valor en libros, como costo inicial menos depreciación.

**Aproximación por Vida Infinita.** En esta modalidad todas las alternativas se repiten a perpetuidad, y en cada una de ellas se calcula el **Costo Capitalizado Total (TCC)**, el cual es la suma del **Costo Capitalizado**  $C_K$  del equipo original más el Valor Presente de los gastos anuales. Para el caso donde el valor de adquisición original es  $C_{FC}$ , el salvamento es cero y los gastos anuales  $C_Z$  son constantes, por lo que se tiene:

$$TCC = C_{FC} * \{ (1 + i)^n / [(1 + i)^n - 1] \} + C_Z / i$$

#### CASO BASE

Como en el *Caso Base* se trata de comparar alternativas de diferente vida económica, se usará el método de Aproximación por Vida Infinita. El valor de adquisición inicial  $C_{FC}$  se tomará, en cada uno de los tres casos, igual a la

inversión inicial, pues se supone que todas las instalaciones y adecuaciones deberán renovarse en prácticamente su totalidad; la tasa de retorno se escoge como 10% anual, pues es un valor accesible del mercado;  $C_z$  son los gastos anuales particulares; y las vidas serán 8 años para el AA expansión directa, y 6 años para *minisplits* y enfriadores evaporativos.

De acuerdo con lo anterior se obtiene:

$$TCC_{AA} = 13'763 * \left\{ \frac{(1+0.1)^8}{(1+0.1)^8 - 1} \right\} + (9'935/0.1) = 25'798 + 99'350 = 125'148$$

$$TCC_{minisplits} = 12'789 * \left\{ \frac{(1+0.1)^6}{(1+0.1)^6 - 1} \right\} + (3'478/0.1) = 29'365 + 34'780 = 64'145$$

$$TCC_{enfr.evap} = 13'114 * \left\{ \frac{(1+0.1)^6}{(1+0.1)^6 - 1} \right\} + (899/0.1) = 30'111 + 8'990 = 39'101,$$

en donde son muy visibles la ventaja económica del enfriador evaporativo y la desventaja de la solución aire acondicionado simple.

### PRODUCCIÓN DE CO<sub>2</sub>

Cada país tiene su propio “factor de emisión del margen combinado”, que indica la cantidad de CO<sub>2</sub> producida en su proceso particular de generación eléctrica. Este valor depende de los orígenes que tenga la generación eléctrica local —térmico (según combustible), hidráulico, nuclear, alternativos—, y también está incluido por las eficiencias de planta. En Colombia el índice es 0.401 [kg<sub>CO2</sub>/kWh] (referencia del MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA FACTORES DE EMISION DEL S.I.N. SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL COLOMBIA 2015, p. 22, Bogotá, dic. 2016. [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/2016/Documento\\_calculo\\_del\\_FE\\_SIN\\_2015\\_dic\\_2016.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/2016/Documento_calculo_del_FE_SIN_2015_dic_2016.pdf)).

La producción de CO<sub>2</sub> de un consumo energético dado se calcula mediante:

$$\dot{m} = \frac{T * W_{EE} * FE}{1000},$$

donde: = producción CO<sub>2</sub> [TON<sub>CO2</sub>/año];  $W_{EE}$  = Potencia eléctrica equipo; FE = factor de emisión del margen combinado.

Aplicando a las tres alternativas del caso base se obtienen:

- $\dot{m}_{AA} = 8.8$  [TON CO<sub>2</sub>/año]
- $\dot{m}_{minisplits} = 2.9$  [TON CO<sub>2</sub>/año]

- $m_{Enf-evap} = 0.3 \text{ [TON}_{CO_2}\text{/año]}$

En conclusión, como se puede apreciar en la Tabla 9.4, tanto desde los puntos de vista de eficiencia energética, económico y ecológico, la alternativa más ventajosa es la de modificaciones bioclimáticas complementada con enfriamiento evaporativo. Hay que destacar que las diferencias resultaron muy amplias, permitiendo concluir, sin vacilación alguna, que esta es la alternativa a implementar.

*Tabla 9.4. Resumen final de comparación entre alternativas*

	ALTERNATIVA			
	Original	A.A.	Modificaciones bioclimáticas + <i>Minisplits</i>	Modificaciones bioclimáticas + Enfrto. evap.
Confort PPD [%]	63	5	5	5
Eficiencia Energética [satisfechos/kWh]		9.4	38	380
Comparación Económica TCC [MM\$]		125'148	64'145	39'101
Contaminación producida [TON <sub>CO2</sub> /año]		8.8	2.9	0.3