

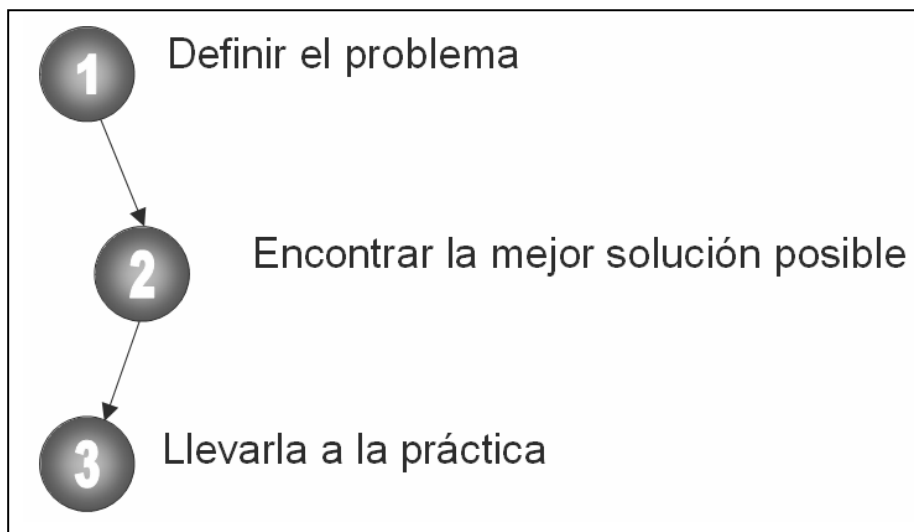
## EL PROCESO DE DISEÑO

---

Cuando un Ingeniero enfrenta cualquier *problema abierto*, suele <sup>1</sup> emplear una metodología de resolución que se denomina *proceso de diseño* <sup>2</sup>.

Un “problema abierto” se caracteriza por no tener una única solución posible <sup>3</sup>. Este tipo de situaciones son las más comunes en la práctica ingenieril <sup>4</sup>. Para enfrentar cualquier problema abierto y llegar a una solución exitosa, el Ingeniero requiere de una de sus más preciadas habilidades: la *creatividad* <sup>5</sup>.

Las tres etapas fundamentales del proceso de diseño son: definir el problema, encontrar la mejor solución posible y llevarla a la práctica.



EL PROCESO DE DISEÑO – ETAPAS PRINCIPALES

¿Cuál es la más importante de todas? Sin duda las tres lo son. Pese a ello, dado la secuencialidad de las etapas y debido a la frecuencia con que se comete el error de obviar la *definición del problema*, es importante remarcar que si se falla en el primer paso, sólo perderemos el tiempo al encarar el segundo y el tercero.

*Definir el problema* se trata de entenderlo cabalmente. *Encontrar la mejor solución posible* debe comprenderse desde un punto de vista sumamente práctico: no nos estamos refiriendo a la mejor solución que exista ni tampoco hablamos de la primera solución que se nos ocurra. El punto de *llevarla a la práctica* no abarca el trabajo de

<sup>1</sup> Muchos Ingenieros recibidos no tienen conciencia de que usan este método, aunque lo usan –yo era uno de ellos-. El estudio de la materia logrará un mayor número de profesionales familiarizados con la abstracción de esta metodología.

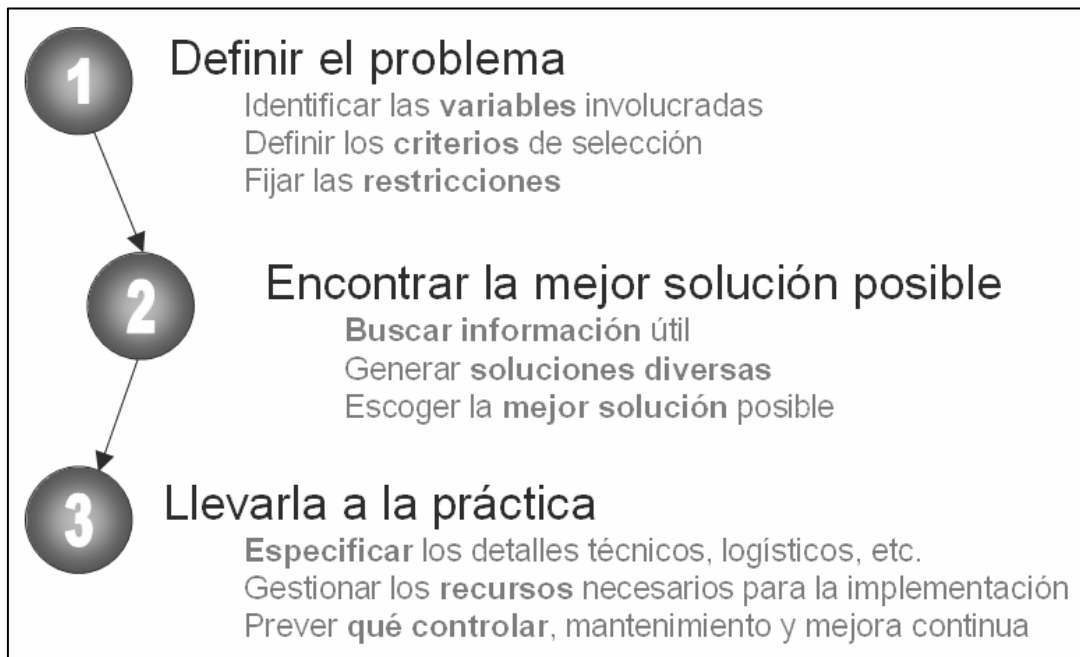
<sup>2</sup> El *proceso de diseño* está muy relacionado con la *teoría de la decisión*, siendo un enfoque particular de la misma.

<sup>3</sup> Lo contrario a un *problema abierto* es un *problema cerrado*, en el que existe sólo una solución posible, como es el caso de la resolución de operaciones matemáticas. Los problemas cerrados también son comunes en Ingeniería, aunque normalmente no requieren *creatividad* para ser resueltos.

<sup>4</sup> Los problemas abiertos también son comunes en muchas otras profesiones.

<sup>5</sup> Recordemos que Ingeniero viene de INGENIO. Muchos estudiantes de Ingeniería sienten que no son creativos: sin duda una importante porción de la creatividad puede ser innata, pero todos podemos desarrollarla o potenciarla si ya contamos con ella. Ésta es una de las habilidades que debemos ocuparnos de desarrollar durante nuestro paso por la universidad.

realización en sí sino que llega solamente hasta el diseño. Esto podrá comprenderse mejor analizando en mayor detalle el proceso:



EL PROCESO DE DISEÑO

Vayamos viendo qué es cada cosa.

En primer término, cuando tratamos de entender un problema, llevamos a cabo una *modelización* mental del mismo, o sea que abstraemos o identificamos las distintas **variables** involucradas y las relaciones funcionales<sup>1</sup> entre ellas, definimos cuál de las variables o de las funciones deseamos optimizar y revisamos en qué conjunto dominio y qué conjunto imagen nos movemos, o sea que acotamos las variables<sup>2</sup>.

Cuando decidimos qué variables optimizar, estamos fijando los criterios o criterios de selección. Y cuando acotamos las variables estamos poniendo las restricciones.

Con los **criterios** de selección definimos *qué queremos decir* con “solucionar” el problema que tenemos entre manos. Los usaremos en la segunda etapa del proceso junto con las restricciones.

Las **restricciones** más comunes refieren a *recursos disponibles e impacto*. Los recursos a evaluar suelen ser el tiempo con el que se cuenta para implementar la solución, los fondos utilizables, las fuentes de energía existentes y su tamaño, el personal y la disponibilidad de materias primas necesarias para llevar a cabo la solución que se diseña. Los impactos a evaluar normalmente son el ambiental y el social.

En cuanto a los tiempos, es importante saber que una propuesta puede entregarse antes de lo previsto pero nunca después. Para hacerlo será importante no comprometerse.

<sup>1</sup> Las relaciones funcionales son también variables, aunque dependientes. Podemos referirnos simplemente a “identificar las variables”, incluyendo en esa expresión tanto a las independientes y como a las dependientes. Por otro lado, cabe aclarar que el término “funcionales” no siempre es exacto, pero se añadió para favorecer la abstracción de los conceptos a partir de relacionarlos con lo visto en matemática.

<sup>2</sup> Tanto las independientes como las dependientes. En el primer caso acotamos el dominio y en el segundo la imagen.

terse a cumplir cronogramas imposibles, incluir los correspondientes márgenes de seguridad al calcular los tiempos de trabajo, hacer una buena planificación de tareas y cumplirla.

En el *Apéndice C “Cómo organizarse mejor”* se explican algunas herramientas muy usadas para organizar proyectos o emprendimientos de cualquier tipo. Uno de los más empleados es el *diagrama de Gantt* –ver Apéndice C-.

Como sabemos, el dinero es una pieza fundamental a considerar. Una propuesta excesivamente costosa normalmente será descartada. Debe considerarse también el *valor tiempo del dinero*; este concepto indica que como regla general “es más valioso tener \$1 hoy que \$1 mañana”. Los efectos que contribuyen a esta regla son el valor potencial del dinero (dado que si tengo el peso hoy puedo invertirlo para incrementarlo – siempre con cierto riesgo-), la inflación (o sea la pérdida de valor adquisitivo por aumento de precios) y la devaluación (o sea la disminución del valor relativo de la unidad monetaria frente a otras unidades de referencia como el u\$s, el oro, etc.).

Normalmente se evaluará como factor principal el efecto que tenga la propuesta en la disminución de *costos* y el aumento de la *productividad*.

En cuanto a los *costos*, se diferenciarán los costos fijos y los variables. ¿Fijos y variables respecto de qué? Respecto de la producción. O sea que los costos fijos no variarán si fabricamos mil unidades o dos mil unidades, pero los costos variables sí lo harán. Por ejemplo el costo de la materia prima es variable y el del personal administrativo es fijo.

La *productividad* mide la eficiencia en el empleo de recursos y el valor agregado durante el proceso productivo. Es un indicador de lo bien que se han empleado los recursos para obtener los resultados.

Las fuentes de energía son otro factor importante. Algunas ideas no serán viables por el consumo energético requerido, ya sea porque no se dispone de la cantidad de energía necesaria o bien porque el costo de la misma es muy elevado.

Es sabido que las fuentes de energía pueden ser renovables o no renovables. Esta clasificación es importante dado que no corresponde despilfarrar energía, sobre todo cuando trabajamos con recursos no renovables<sup>1</sup>.

El personal con el que se cuenta puede ser una restricción importante. No siempre puede disponerse de la cantidad y calidad necesaria de trabajadores en los tiempos límite establecidos.

Lo mismo ocurre con las materias primas, su existencia, la cercanía, los costos de extracción, transporte, etc. dependiendo del caso.

Las restricciones referidas a impacto social y ambiental, hoy día son consideradas más seriamente en la evaluación de proyectos que lo acostumbrado decenios atrás. Lamentablemente esto ocurre porque *estamos con el agua al cuello*.

El impacto ambiental siempre existe. Puede ser favorable o desfavorable. Podemos mencionar algunos daños al planeta como contaminar el aire, el agua, el suelo, exterminar especies, invadir ecosistemas provocando la migración definitiva de especies y la posterior muerte del ecosistema, los daños genéticos provocados en todos los

---

<sup>1</sup> El costo a pagar a mediano plazo por despilfarrar energía puede ser demasiado elevado; retomaremos este tema en el capítulo sobre *ética profesional*.

organismos vivos por contaminación radiactiva, los efectos nocivos de otras radiaciones, etc. En este sentido, los Ingenieros debemos aplicar este valioso principio<sup>1</sup>:

***“Dejar el lugar en mejores condiciones de lo que lo encontramos”***

Los Ingenieros somos responsables de imponer este principio de acción y evaluación de proyectos en los lugares donde trabajemos y no se cumpla. Cada uno debemos actuar en este sentido.

Además del tema ético profesional, cada vez existen regulaciones más estrictas que provocan perjuicios económicos severos a las compañías que dañan el medio ambiente. Con todo, en la práctica sigue y seguirá habiendo incontables baches no regulados, por lo que adquiere especial relevancia la aplicación del antedicho principio.

El impacto social también puede ser positivo o negativo, o bien tener algunos aspectos favorables y otros no. La fuerza laboral está indefectiblemente atada a la realización de nuevos proyectos. *Los gobiernos de países industrializados cuidan a sus emprendedores e intentan con ahínco engendrar nuevos, ya que los emprendimientos que ellos llevan a cabo son fuente de trabajo para los ciudadanos e ingresos impositivos para el estado*<sup>2</sup>.

Pueblos enteros se forman en torno a emprendimientos industriales y otros desaparecen cuando funden empresas o mudan su locación geográfica. Los hábitos de vida y las costumbres de los habitantes, son también altamente influenciados por los nuevos desarrollos tecnológicos.

Hasta aquí llega el punto 1 “Definir el problema”.

La etapa que sigue es *“Encontrar la mejor solución posible”*. Para ello resulta valioso **buscar información**. ¿Qué información? Toda la que pueda servir; de libros, de revistas técnicas, información sin procesar relevada en el mismo lugar de los hechos, mediciones, charlas con personal idóneo en el tema, Internet, etc. Esto nos permitirá aprovechar experiencias anteriores -si las hay a nuestro alcance- y ampliar el abanico de ideas y el entendimiento del tema. Sin duda la búsqueda de información ocurre a lo largo de todo el proceso, pero es en esta instancia en donde más podemos focalizarla.

En el *Anexo A* se analizan las *fuentes de información* de mayor utilidad, que sirven tanto para el proceso de diseño, como para el método científico y para el estudio de la carrera universitaria.

¿Cuánta información buscamos? La respuesta sale de poner en la balanza el tiempo necesario para buscar información y el que tenemos para diseñar la solución. También dependerá de la importancia relativa del problema a resolver y de la dificultad del mismo.

Si hemos recolectado muchos datos, necesitaremos estar prácticos en *organizar la información* para poder aprovecharla. Esta habilidad es importante en los Ingenieros. También lo es la de *saber dónde buscar* información.

Luego, viene el momento de **generar soluciones diversas**, muchas soluciones, cuantas más, mejor. Este es un proceso esencialmente creativo. No debe descartarse

<sup>1</sup> Tomado de los Boy Scouts, movimiento juvenil fundado en 1907 por *Robert Baden Powell*, que se extendió rápidamente y funciona desde entonces en todo el mundo.

<sup>2</sup> Tomado de una charla brindada por el *Ing. Daniel Míguez*, presidente de *EMPREAR*.

ninguna opción *a priori*. Existen algunas técnicas para favorecer la creatividad, como la *tormenta de ideas* (se ha incluido una reseña completa de ellas en el *Apéndice F*).

De todas las ideas que surjan, algunas locas, otras no, hay que **escoger la mejor solución posible**. Para ello, primero descartamos las opciones que no sirven y después entre las que quedan, hacemos una evaluación para encontrar la que más satisface nuestros requerimientos.

Para descartar las soluciones que no son viables, se emplean las *restricciones* definidas en el punto 1. También habrá ideas desechadas porque, más allá de ser factibles, carecen de utilidad (o sea que no cumplen los criterios de selección predefinidos).

Una vez acotado el conjunto a las soluciones posibles y útiles, se aplica la herramienta conocida como *matriz de decisión* para ponderar las virtudes de cada opción y llegar a la mejor. En esta instancia intervienen los *criterios de selección* fijados en el punto 1.

¿Cómo es una matriz de decisión? Veamos un ejemplo...

variables	funcionalidad				tiempo		costo	aspecto				
ponderación	0,25				0,30		0,30	0,15				
CRITERIOS	cri. 1	cri. 2	cri. 3	cri. 4	cri. 5	cri. 6	cri. 7	cri. 8	cri. 9	cri. 10	cri. 11	
ponderación	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,20	0,30	0,02	0,07	0,01	0,05	GS
sol. 1												
sol. 2												
sol. 3												
sol. 4												
sol. 5												

Ejemplo de una MATRIZ DE DECISIÓN

En este caso han quedado cinco soluciones posibles, que son las que se evaluarán. Los renglones encabezados por "sol. 1", "sol. 2", etc. corresponden a cada una de ellas.

En las columnas aparecen los criterios y la ponderación que se decidió asignarles para sopesar las opciones. Si sumamos todas las ponderaciones de los criterios (0,10 + 0,05 + ...) obtendremos 1. Los criterios aparecen agrupados por las variables a que corresponden. También aparece una ponderación aplicada a las variables, que corresponde a la suma de los criterios evaluados para la misma. Estas ponderaciones se definen antes que las de los criterios. En el caso del ejemplo, se le ha dado una importancia del 25% a la funcionalidad, del 30% al tiempo, 30% al costo y 15% al aspecto (las variables también podrían ser otras).

Lo que falta es poner una nota (normalmente de 0 a 10) que mida cómo cumple cada solución con cada uno de los criterios. Debe aclararse qué significa, para cada criterio, una puntuación de 10, de 0, etc. Para terminar, en la última columna aparece el indicador que nos ayudará a decidir: GS o *grado de satisfacción*.

El grado de satisfacción se calcula para cada solución, como la suma de los productos entre nota obtenida y ponderación del criterio, para todos los criterios. De esta forma, el GS también quedará entre 0 y 10 puntos.

$$GS = \sum_{i=1}^n n_i \cdot p_i$$

En principio, la solución que obtenga el mayor GS será la elegida. Puede pasar que algunos GS resulten similares (por ejemplo 7,28 vs. 7,33); en ese caso, como la matriz posee un margen de error importante, principalmente debido a la subjetividad en

la asignación de ponderaciones y notas, es conveniente realizar alguna refinación para escoger entre ambas soluciones, o bien usar otro punto de vista, o ignorar el error probable y tomar la de mayor GS entre ambas. Pero nunca hay que perder de vista que *el GS es sólo un indicador*, para ayudarnos a decidir.

Al proceso de generar muchas decisiones se lo identifica como *pensamiento divergente*. Y al proceso de descartar las no viables y elegir la mejor entre las que quedan, se lo llama *pensamiento convergente*.

Hasta aquí llega el punto 2 “Escoger la mejor solución posible”.

La tercera etapa consiste en diseñar todo lo necesario para poder “llevar a la práctica” la solución escogida. Para empezar, hay que explicar claramente lo que debe hacerse, empleando el lenguaje y los medios adecuados para que esa explicación sea entendida tanto por otros profesionales, como por operarios, directivos, etc. Esto implica armar las **especificaciones** técnicas (tantas como haga falta). Toda esta documentación, junto con las memorias de cálculo empleadas y otros documentos, son imprescindibles para efectivizar la solución y para poder revisar el proyecto las veces que sea necesario, antes de su puesta en marcha y luego de la misma.

También habrá que gestionar el aprovisionamiento de los **recursos** a emplear, o bien especificar cómo pueden conseguirse los mismos. La gestión de recursos incluirá muchas veces planes de capacitación de personal, esquema de reuniones, diagrama de tiempos de la implementación, etc.

Otro punto que no puede faltar, es definir **qué variables habrá que controlar** para monitorear el correcto funcionamiento de la solución implementada (armar lo que se conoce como *tablero de control*). Según se prevea el desgaste o deterioro de piezas habrá que diseñar algún plan de mantenimiento. Y por último, será valioso definir puntos a investigar, rendimientos que pueden ser mejorados, etc. y enmarcarlos en el diseño de algún esquema previsto para futuras mejoras o mejora continua de la solución implementada.

Con esto finaliza el proceso de diseño. Veamos un ejemplo práctico...

#### EJEMPLO DEL PROCESO DE DISEÑO

Una firma productora llama a licitación. Requiere idear el aprovisionamiento eléctrico para un desarrollo industrial que se llevará a cabo en un sitio muy alejado de los centros poblados, por donde no pasan líneas de alta tensión.

Tu compañía participará de la licitación, así que pones manos a la obra. Revisas las variables en juego, sus cotas y los criterios de evaluación que emplearán sobre ellas. El tiempo máximo para la entrega del proyecto es de mes y medio y la puesta en marcha del diseño ya instalado será en seis meses. La cifra invertida no podrá superar los once millones de dólares. Cuentan con un equipo de dos Ingenieros Eléctricos, uno Civil y alrededor de sesenta operarios. La planta requerirá un aprovisionamiento de 100 MWh en los momentos de máxima demanda. La geografía del lugar es montañosa pero no aparecen ríos de gran caudal. La zona es ventosa y frecuentemente azotada por tormentas. Buscarán entonces una idea que represente el mínimo costo para la compañía inversora, cuyo diseño esté listo para ser evaluado lo antes posible y que pueda ser construido también en el menor tiempo, que produzca la mayor cantidad de energía, que requiera la menor cantidad de personal para llevarla a cabo, que no dañe el medio ambiente, que sea segura y durable, con un mantenimiento mínimo y barato.

Divides al grupo de diseño en tres equipos y encargas la presentación de opciones viables en tres días. Para ello cada equipo se dedica primeramente a buscar información y aportarla a un centro de datos que comparten. Se revisan otras centrales de generación eléctrica con asentamiento geográfico similar; se rastrea en las últimas publicaciones de la IEEE y otras asociaciones sobre la posible existencia de tesis, anales de congresos, etc. que puedan aportar información valiosa; se leen algunos capítulos de manuales y libros técnicos; se visita la zona y se efectúa un relevamiento aéreo; se consiguen las cartas topográficas del lugar; se encarga a un estudio de abogados la presentación en breve de las exigencias legales para la instalación en ese país; etc.

Algunos equipos realizan tormenta de ideas después de embeberse bien en los datos recogidos. Otros emplean diferentes técnicas. Transcurrido el breve lapso dispuesto por la gerencia que conduces, hay una reunión de los equipos donde se efectúan una docena de presentaciones. Varias resultan coincidentes entre uno y otro equipo. Entre las destacadas aparece la instalación de gran cantidad de generadores eólicos; el tendido de una línea eléctrica desde la central más cercana; la construcción de una planta hidroeléctrica en la costa y el tendido de las líneas; el desarrollo de una central para atraer y entrapar las descargas eléctricas de tormentas (los rayos); el emplazamiento de dos turbinas térmicas que funcionan a carbón, fuel oil o gas; el aprovechamiento geotérmico dado que en el área aparecen varios volcanes inactivos y se estima la presencia de capas muy calientes a pequeñas profundidades.

Luego de varias reuniones y más búsqueda de información, se terminan descartando algunas de las opciones planteadas, por exceder restricciones del proyecto. Por ejemplo la opción geotérmica resulta demasiado costosa, los generadores eólicos no alcanza a cubrir los picos de demanda energética (aunque pueden servir de complemento), las turbinas térmicas exceden el nivel de emisiones permitido por el gobierno. Para este último caso, se evalúa la posibilidad de ganar cierta flexibilidad por parte de los gobernantes de turno mediante soborno económico, pero el Ingeniero director del proyecto –tu mismo– la descartas de cuajo, por ir en contra de tus valores éticos, tanto en la cuestión del soborno, como en el tema de las emisiones contaminantes en un ambiente protegido.

Al final quedan unas pocas opciones viables. Se arma una matriz de decisión para ponderarlas y se realiza una evaluación cuidadosa para calificar el nivel de cumplimiento de cada criterio. Se le da mayor importancia a costos y tiempos, luego viene el tema de la factibilidad técnica y la energía máxima producida (todas las opciones superan los 100 MWh). Hechos todos los cálculos, el grado de satisfacción máximo lo alcanza la opción de tender líneas desde la central generadora más cercana complementada con una serie de generadores eólicos. Pero a unas pocas décimas de GS queda la posibilidad de entrapar los rayos, que entusiasma a todo el equipo, aunque tenga su punto más flojo en la factibilidad técnica. Pese a ello, y luego de mucho charlarlo, juzgas valioso aprovechar el entusiasmo del grupo y decides dar pie a la novedosa empresa.

Se contrata a un físico de renombre internacional y a un astrónomo recomendado por éste, que en breve se integraran al proyecto, también con entusiasmo.

Durante varias semanas el personal técnico científico trabaja a cargo de los profesionales contratados, efectuando ensayos de laboratorio unos, trazando planos de obra otros, gestionando las opciones de compra con proveedores y resolviendo diferencias legales y patentes a través del estudio de abogados. Al final queda armado un proyecto novedoso, con amplias posibilidades de expandirse a nivel global y convertirse en una fortaleza de la compañía si la construcción y puesta en marcha resultan exitosas.

Tras una fabulosa presentación con *Power Point*, maquetas, torta y hasta un equipo en escala para generar descargas y entraparlas, la firma industrial solicitante escoge al novedoso proyecto de la compañía. Los festejos se extienden hasta bien entrada la noche. En unos cuatro meses, según lo pactado, debe estar funcionando la central atrapa-rayos a mitad de capacidad, para poder efectuar las primera pruebas.