

UNIDAD 1 — EL PROCESO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN INGENIERÍA CIVIL

1. Introducción

La Ingeniería Civil tiene como finalidad intervenir sobre el medio físico para resolver necesidades de la sociedad mediante el diseño, construcción, operación, mantenimiento y gestión de obras e infraestructuras.

Puentes, caminos, viviendas, edificios, redes de agua potable, sistemas de desagües pluviales, cloacas, presas, obras de protección contra inundaciones, urbanizaciones y sistemas de transporte son respuestas de la ingeniería a problemas concretos.

Sin embargo, antes de calcular una estructura, dimensionar una tubería, diseñar un pavimento o proyectar una red de servicios, existe una etapa fundamental:

comprender cuál es realmente el problema que se pretende resolver.

Esta afirmación resulta especialmente importante en la formación inicial del ingeniero. Durante la carrera, gran parte de los ejercicios académicos presentan problemas perfectamente definidos:

- se conocen los datos;
- se conoce qué se debe calcular;
- existen fórmulas o procedimientos;
- las condiciones están previamente establecidas;
- generalmente existe una respuesta numérica esperada.

En la práctica profesional, la situación es muy diferente.

El ingeniero recibe frecuentemente una necesidad, una demanda o una situación problemática, pero no necesariamente recibe el problema correctamente formulado.

Por ejemplo:

“Cuando llueve, se inunda el barrio.”

Eso es una situación problemática, pero todavía no constituye un problema de ingeniería adecuadamente formulado.

El ingeniero deberá preguntarse:

- ¿Dónde se produce la inundación?
- ¿Con qué frecuencia?
- ¿Qué magnitud tienen las lluvias que producen el problema?
- ¿Cuál es el área de aporte?
- ¿Existe una red de drenaje?
- ¿La red está correctamente dimensionada?
- ¿Existe falta de mantenimiento?
- ¿El problema se origina aguas arriba?
- ¿La urbanización modificó el escurrimiento natural?
- ¿Hay ocupación de zonas naturalmente inundables?
- ¿Cuál es el nivel de riesgo?
- ¿Qué consecuencias produce la inundación?
- ¿Qué soluciones son técnicamente posibles?
- ¿Cuál es su costo?
- ¿Qué impactos ambientales o sociales producirían?
- ¿Qué alternativa resulta más conveniente?

Por lo tanto, **resolver problemas de ingeniería comienza mucho antes de realizar un cálculo.**

2. ¿Qué entendemos por problema?

Un problema puede definirse, desde una perspectiva ingenieril, como una situación en la cual existe una diferencia entre un estado actual y un estado deseado, y para cuya solución es necesario tomar decisiones utilizando conocimientos científicos, tecnológicos y de gestión.

Podemos representarlo de manera simplificada como:

SITUACIÓN ACTUAL → BRECHA → SITUACIÓN DESEADA

Por ejemplo:

Situación actual:

Una intersección urbana presenta frecuentes anegamientos durante lluvias intensas.

Brecha:

El sistema existente no permite evacuar adecuadamente los caudales generados.

Situación deseada:

Reducir el nivel y duración del anegamiento hasta alcanzar un nivel de riesgo aceptable.

A partir de allí aparece el problema de ingeniería.

Pero existe una cuestión fundamental:

La solución no está definida de antemano.

Puede ser:

- ampliar conductos;
- construir nuevos sumideros;
- modificar pendientes;
- generar reservorios;
- incorporar sistemas de infiltración;
- modificar la geometría vial;
- controlar aportes aguas arriba;
- combinar varias soluciones.

Por eso, un problema de ingeniería generalmente admite **más de una solución posible**.

3. Problemas académicos y problemas reales

Una distinción fundamental para los estudiantes es la existente entre los problemas académicos y los problemas profesionales.

3.1. Problema académico

Un problema típico de una asignatura puede ser:

“Dimensionar una viga simplemente apoyada de 6 m de luz sometida a una carga uniforme de 20 kN/m.”

El problema ya proporciona:

- geometría;
- condiciones de apoyo;
- cargas;
- material;
- longitud;
- objetivo.

El estudiante debe aplicar un procedimiento conocido para obtener una solución.

3.2. Problema profesional

En la práctica, la situación podría ser:

“El propietario necesita construir un edificio de dos plantas en este terreno.”

Ahora aparecen numerosas preguntas:

- ¿Qué superficie necesita?
- ¿Qué uso tendrá?
- ¿Qué permite la normativa?
- ¿Cuál es la capacidad portante del suelo?
- ¿Qué materiales son convenientes?
- ¿Cuál es el presupuesto disponible?
- ¿Cuál es el plazo?
- ¿Qué sistema estructural conviene?
- ¿Cómo se resolverán las instalaciones?
- ¿Existe riesgo de inundación?
- ¿Cómo se realizará el acceso?
- ¿Qué restricciones tiene el terreno?
- ¿Qué impacto tendrá la obra?
- ¿Qué alternativas pueden plantearse?

El problema no viene completamente definido.

El ingeniero debe construir el problema antes de resolverlo.

Esta es una de las diferencias fundamentales entre la formación académica y la práctica profesional.

4. El pensamiento ingenieril

El pensamiento ingenieril puede entenderse como una forma estructurada de abordar situaciones complejas utilizando conocimientos científicos y tecnológicos, pero incorporando además restricciones económicas, sociales, ambientales, normativas y de seguridad.

No existe una única metodología universal para resolver todos los problemas de ingeniería. Sin embargo, puede proponerse un proceso general.

Proceso general

1. Reconocer la situación problemática.
2. Identificar la necesidad.
3. Recopilar información.
4. Definir el problema.
5. Identificar objetivos.
6. Identificar restricciones.
7. Analizar causas y consecuencias.
8. Generar alternativas.
9. Evaluar alternativas.
10. Tomar una decisión.
11. Diseñar y desarrollar la solución.
12. Implementar.
13. Verificar resultados.
14. Aprender de la experiencia.

Este proceso no debe interpretarse necesariamente como una secuencia rígida.

En ingeniería es frecuente volver hacia atrás.

Por ejemplo:

Definir → analizar → proponer → evaluar → descubrir nueva información → redefinir el problema.

Por eso, la resolución de problemas de ingeniería es un proceso **iterativo**.

5. Identificación del problema

La primera etapa consiste en reconocer que existe una situación que requiere intervención.

La identificación puede surgir de diferentes fuentes:

- una necesidad de la población;
- una falla;
- un accidente;
- una deficiencia de infraestructura;
- una demanda de un cliente;
- una exigencia normativa;
- una oportunidad de mejora;
- un problema ambiental;
- una restricción económica;
- un riesgo identificado;
- una decisión política o administrativa;
- una necesidad productiva.

Ejemplo

Una municipalidad observa que un camino presenta numerosos deterioros.

Una primera formulación podría ser:

“El camino está en mal estado.”

Pero esta afirmación todavía es insuficiente.

El ingeniero debe investigar:

- ¿Qué tipo de deterioro existe?
- ¿Es deformación?
- ¿Fisuración?
- ¿Pérdida de material?
- ¿Problemas de drenaje?

- ¿Problemas de subrasante?
- ¿Sobrecarga vehicular?
- ¿Falta de mantenimiento?
- ¿Deficiencias constructivas?
- ¿Cuál es la longitud afectada?
- ¿Cuál es la frecuencia del problema?

De esta manera se pasa de una percepción inicial a una situación técnicamente caracterizada.

6. Formulación del problema

Identificar un problema no significa necesariamente haberlo formulado correctamente.

La formulación consiste en transformar una situación general en una descripción clara, concreta y analizable.

Una buena formulación debería responder, como mínimo:

- ¿Qué está ocurriendo?
- ¿Dónde ocurre?
- ¿A quién afecta?
- ¿Cuándo ocurre?
- ¿Con qué magnitud?
- ¿Cuáles podrían ser sus causas?
- ¿Cuáles son sus consecuencias?
- ¿Qué se pretende modificar?
- ¿Qué restricciones existen?

Ejemplo

Formulación débil

“El barrio tiene problemas de agua.”

Formulación mejorada

“Durante períodos de lluvias intensas, determinadas calles del barrio presentan anegamientos que dificultan la circulación y generan ingreso de agua a viviendas ubicadas en sectores bajos.”

Ahora existe mayor información.

Pero todavía debemos investigar:

- frecuencia;
- intensidad de las precipitaciones;
- topografía;
- cuencas;
- capacidad de la red;
- pendientes;
- secciones de calles;
- ocupación del suelo;
- puntos bajos;
- obstrucciones;
- infraestructura existente.

7. El problema detrás del problema

Una de las habilidades más importantes del ingeniero consiste en evitar confundir **síntoma** con **causa**.

Una obra puede presentar un problema visible, pero su origen puede estar en otro lugar.

Ejemplo: inundación

Síntoma:

Una calle se inunda.

Posibles causas:

- conducto insuficiente;

- falta de captaciones;
- pendiente insuficiente;
- obstrucción;
- aporte excesivo de una cuenca superior;
- modificación del terreno;
- impermeabilización;
- ocupación de una zona de escurrimiento;
- diseño original incorrecto;
- falta de mantenimiento.

Si el ingeniero simplemente aumenta el diámetro del conducto sin estudiar las causas, puede realizar una obra costosa que no resuelva completamente el problema.

Por eso:

Resolver un problema requiere comprender el sistema que genera el problema.

8. Análisis del problema

Una vez identificado y formulado el problema, comienza la etapa de análisis.

El objetivo es comprender:

- causas;
- efectos;
- variables;
- relaciones;
- restricciones;
- riesgos;
- recursos disponibles.

Una herramienta sencilla es el **árbol del problema**.

Árbol del problema

Problema central

Anegamiento frecuente de una zona urbana.

Causas

- insuficiente capacidad hidráulica;
- escasa captación;
- aumento de superficie impermeable;
- ocupación del cauce natural;
- falta de mantenimiento.

Consecuencias

- interrupción del tránsito;
- daños materiales;
- deterioro de calles;
- riesgos sanitarios;
- pérdidas económicas;
- afectación de viviendas.

Esta herramienta ayuda al estudiante a comprender que los problemas de ingeniería normalmente tienen **múltiples causas y múltiples consecuencias**.

9. Pensamiento sistémico

Una obra civil nunca existe completamente aislada.

Forma parte de un sistema.

Por ejemplo, una carretera puede relacionarse con:

- población;
- actividad económica;
- transporte;
- ambiente;
- drenaje;

- uso del suelo;
- seguridad vial;
- logística;
- mantenimiento.

Por lo tanto, una decisión aparentemente técnica puede producir consecuencias en otros componentes.

Ejemplo

Construir una nueva avenida puede:

Beneficiar

- circulación;
- accesibilidad;
- transporte;
- actividad comercial.

Pero también puede:

- aumentar la impermeabilización;
- modificar escurrimientos;
- generar ruido;
- aumentar el tránsito;
- modificar el valor del suelo;
- afectar vegetación;
- producir conflictos con vecinos.

El ingeniero debe comprender estas interacciones.

Por eso hablamos de:

visión sistémica de la ingeniería.

10. Tipos de problemas en Ingeniería Civil

Los problemas de ingeniería civil pueden clasificarse de diferentes maneras.

Para esta unidad se propone trabajar cuatro grandes dimensiones:

1. problemas técnicos;
2. problemas ambientales;
3. problemas sociales;
4. problemas económicos.

Estas dimensiones no son independientes.

En un proyecto real suelen aparecer simultáneamente.

11. Problemas técnicos

Son aquellos relacionados con el comportamiento físico, tecnológico o funcional de una obra o sistema.

Ejemplos:

- una estructura presenta deformaciones;
- un pavimento falla;
- una tubería no tiene capacidad suficiente;
- un puente presenta deterioro;
- una fundación presenta asentamientos;
- una red de agua tiene baja presión;
- un talud presenta inestabilidad;
- una obra no cumple una determinada prestación.

Los problemas técnicos pueden involucrar:

- mecánica;
- estructuras;
- hidráulica;
- geotecnia;

- materiales;
- transporte;
- topografía;
- construcción;
- instalaciones.

Pero incluso un problema aparentemente técnico puede tener causas económicas, sociales o ambientales.

12. Problemas ambientales

Toda obra civil modifica de alguna manera el ambiente.

Los impactos pueden producirse durante:

- construcción;
- operación;
- mantenimiento;
- abandono.

Entre ellos:

- movimiento de suelo;
- pérdida de vegetación;
- alteración del drenaje;
- generación de residuos;
- contaminación del agua;
- emisiones;
- ruido;
- erosión;
- modificación del paisaje;
- consumo de recursos;
- alteración de ecosistemas.

El objetivo no debe ser enseñar al estudiante simplemente a identificar impactos.

Debe comenzar a desarrollar una pregunta más profunda:

¿Cómo puede modificarse el proyecto para reducir o evitar esos impactos?

Es decir, el ambiente no debe aparecer solamente como una restricción posterior al diseño.

Debe incorporarse **desde el inicio del proceso de decisión**.

13. Problemas sociales

Las obras civiles se construyen para la sociedad y dentro de la sociedad.

Por lo tanto, las decisiones de ingeniería pueden afectar:

- habitantes;
- trabajadores;
- usuarios;
- propietarios;
- comunidades;
- comerciantes;
- instituciones;
- generaciones futuras.

Ejemplos:

- construcción de una ruta que divide una comunidad;
- relocalización de viviendas;
- afectación de accesos;
- modificación de espacios públicos;
- aumento de tránsito;
- pérdida de actividades económicas;
- mejora de accesibilidad;
- reducción del riesgo de inundaciones.

Una solución técnicamente excelente puede generar rechazo social.

Por eso el ingeniero debe comprender que:

La aceptación social también forma parte del contexto de un proyecto.

14. Problemas económicos

Los recursos disponibles son limitados.

Por lo tanto, casi toda decisión de ingeniería involucra una dimensión económica.

Esto no significa simplemente elegir la alternativa más barata.

Una solución de bajo costo inicial puede generar:

- mayores costos de mantenimiento;
- menor vida útil;
- mayor riesgo;
- mayores impactos;
- mayores costos de operación.

Por lo tanto, la pregunta correcta no es:

“¿Cuál es la solución más barata?”

Sino:

“¿Cuál es la alternativa que permite alcanzar los objetivos considerando sus costos, beneficios, riesgos y consecuencias?”

Esto introduce al estudiante en el concepto de **costo del ciclo de vida**.

15. Problemas multidimensionales

En la práctica, las cuatro dimensiones se combinan.

Consideremos un ejemplo:

Construcción de un puente

Problema técnico

Debe soportar las cargas previstas.

Problema ambiental

Puede afectar el curso de agua y la vegetación.

Problema social

Debe garantizar la conectividad de la población.

Problema económico

Debe ejecutarse dentro de un presupuesto disponible.

Entonces la solución debe satisfacer simultáneamente:

seguridad + funcionalidad + ambiente + sociedad + economía.

Esta es una característica esencial de la ingeniería civil:

Las decisiones rara vez tienen una única dimensión.

16. Restricciones

Todo problema de ingeniería posee restricciones.

Una restricción es una condición que limita las posibles soluciones.

Pueden ser:

Técnicas

- resistencia;
- estabilidad;
- capacidad;
- dimensiones;
- materiales.

Normativas

- reglamentos;
- leyes;

- ordenanzas;
- estándares;
- requisitos de seguridad.

Económicas

- presupuesto;
- disponibilidad de financiamiento;
- costos de operación.

Temporales

- plazo de ejecución;
- fecha de puesta en servicio.

Ambientales

- áreas protegidas;
- cursos de agua;
- vegetación;
- emisiones.

Sociales

- aceptación;
- accesibilidad;
- afectación a vecinos.

Geográficas

- topografía;
- suelo;
- clima;
- disponibilidad de espacio.

El estudiante debe comprender que:

Diseñar en ingeniería consiste muchas veces en encontrar una solución dentro de un conjunto de restricciones.

17. Objetivos y criterios de éxito

Antes de seleccionar una solución es necesario definir qué significa que la solución sea "buena".

Por ejemplo, para un sistema de drenaje urbano:

Objetivo principal

Reducir el riesgo de inundación.

Objetivos secundarios

- mantener transitabilidad;
- minimizar interferencias;
- reducir costos;
- facilitar mantenimiento;
- reducir impactos ambientales.

Luego pueden establecerse criterios:

- seguridad;
- costo;
- vida útil;
- facilidad constructiva;
- mantenimiento;
- impacto ambiental;
- aceptación social.

Esto permite comparar alternativas de manera racional.

18. Generación de alternativas

Un error frecuente del estudiante consiste en buscar inmediatamente una solución.

El pensamiento ingenieril requiere primero preguntarse:

¿Qué alternativas existen?

Por ejemplo, frente a un problema de inundación:

Alternativa A

Aumentar la capacidad de los conductos.

Alternativa B

Construir un reservorio.

Alternativa C

Aumentar la captación.

Alternativa D

Controlar los aportes aguas arriba.

Alternativa E

Combinar varias estrategias.

Incluso puede aparecer una alternativa diferente:

Alternativa F

No construir una nueva infraestructura y modificar el uso del suelo o implementar medidas de gestión.

Esto introduce un concepto muy importante:

No siempre la solución de ingeniería es construir más infraestructura.

19. Evaluación de alternativas

Una vez generadas las alternativas deben compararse.

Podemos construir una matriz sencilla:

Criterio	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Seguridad	Alta	Alta	Media

Costo inicial	Alto	Medio	Bajo
Mantenimiento	Medio	Bajo	Alto
Impacto ambiental	Medio	Bajo	Bajo
Facilidad constructiva	Media	Media	Alta
Vida útil	Alta	Alta	Media

No existe necesariamente una alternativa perfecta.

El objetivo es encontrar una solución que presente un **equilibrio adecuado entre los diferentes criterios**.

20. Toma de decisiones

La ingeniería implica tomar decisiones.

Una decisión de ingeniería debería estar basada en:

- información;
- análisis;
- criterios;
- restricciones;
- experiencia;
- normativa;
- riesgos.

Pero muchas veces la información es incompleta.

Por eso aparece uno de los conceptos centrales de esta unidad:

DECISIONES EN CONTEXTOS DE INCERTIDUMBRE

21. ¿Qué significa incertidumbre?

La incertidumbre aparece cuando no conocemos exactamente el comportamiento futuro de una variable o cuando la información disponible es incompleta.

En Ingeniería Civil esto es permanente.

Ejemplos:

- intensidad de una lluvia futura;
- comportamiento del suelo;
- crecimiento del tránsito;
- evolución de precios;
- vida útil;
- comportamiento de usuarios;
- disponibilidad futura de recursos;
- condiciones climáticas;
- cambios normativos.

Por ejemplo:

Un puente puede diseñarse utilizando determinadas estimaciones de tránsito.

Pero:

¿Cómo será el tránsito dentro de 30 años?

No lo sabemos exactamente.

El diseño debe entonces considerar una previsión razonable y determinados márgenes de seguridad.

22. Riesgo e incertidumbre

Es importante diferenciar ambos conceptos.

Incetidumbre

Existe desconocimiento sobre el comportamiento de una variable.

Riesgo

Existe una posibilidad de que ocurra un evento que produzca consecuencias negativas.

Por ejemplo:

No conocemos exactamente cuál será la máxima lluvia futura.

Eso constituye una incertidumbre.

Si una lluvia extrema puede provocar inundaciones y daños, aparece un riesgo.

Podemos representarlo conceptualmente como:

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA × CONSECUENCIA

No siempre es posible calcular estos valores de manera precisa, pero el concepto permite comprender la lógica de la gestión del riesgo.

23. Ejemplo: diseño de un sistema pluvial

Supongamos que se debe diseñar un sistema de drenaje.

El ingeniero debe decidir para qué evento de lluvia diseñará.

No tiene sentido decir:

“Diseñemos para cualquier lluvia posible.”

Una lluvia extraordinariamente extrema podría requerir una infraestructura económicamente inviable.

Por eso se selecciona un determinado nivel de diseño considerando:

- probabilidad;
- consecuencias;
- costo;
- nivel de servicio;
- normativa;

- importancia de la infraestructura.

La decisión es entonces un equilibrio entre:

riesgo aceptable + costo + nivel de servicio.

24. Información y toma de decisiones

Una buena decisión depende de la calidad de la información.

Por eso el ingeniero debe aprender a distinguir:

Datos

Información obtenida directamente.

Ejemplo:

La calle tiene 7 m de ancho.

Información procesada

Resultado de analizar datos.

Ejemplo:

La pendiente longitudinal promedio es del 1,2 %.

Supuesto

Condición adoptada ante la falta de información.

Ejemplo:

Se supone determinada condición de apoyo.

Hipótesis

Proposición que deberá verificarse mediante análisis.

Ejemplo:

Se plantea que el anegamiento podría originarse por insuficiencia hidráulica.

Esta distinción es fundamental.

25. El valor de preguntar

Una de las habilidades más importantes del ingeniero es **hacer buenas preguntas**.

Frente a un problema, el estudiante debería acostumbrarse a preguntar:

¿Qué sabemos?

¿Qué no sabemos?

¿Qué necesitamos saber?

¿Qué estamos suponiendo?

¿Qué podría salir mal?

¿Qué alternativas tenemos?

¿Cómo vamos a comparar las alternativas?

¿Qué consecuencias tendrá nuestra decisión?

Esta secuencia puede convertirse en una herramienta permanente durante toda la carrera.

26. Modelización del problema

La realidad es demasiado compleja para analizarla directamente en todos sus aspectos.

Por eso el ingeniero construye modelos.

Un modelo puede ser:

- matemático;
- físico;
- digital;
- gráfico;
- conceptual;
- computacional.

Por ejemplo:

La realidad de una cuenca urbana puede representarse mediante:

- modelo digital del terreno;
- curvas de nivel;
- red de drenaje;
- cuencas;
- caudales;
- tiempos de concentración;
- modelos hidráulicos.

El modelo permite simplificar la realidad sin perder los aspectos fundamentales para la decisión.

Pero hay que recordar:

Un modelo no es la realidad.

Es una representación de la realidad realizada para responder una pregunta.

27. La importancia de los supuestos

Todo modelo utiliza supuestos.

Por ejemplo:

- material homogéneo;
- carga distribuida;
- flujo uniforme;
- suelo con determinadas características;

- determinada vida útil;
- determinada condición de mantenimiento.

Los supuestos simplifican el análisis, pero también introducen incertidumbre.

Por eso un buen ingeniero debe ser capaz de responder:

¿Qué supuestos hice y qué consecuencias tiene haberlos hecho?

28. Herramientas para analizar problemas

Los estudiantes pueden incorporar progresivamente herramientas sencillas.

28.1. Lluvia de ideas

Permite generar rápidamente posibles causas y soluciones.

28.2. Árbol de problemas

Permite identificar:

causas → problema → consecuencias.

28.3. Diagrama causa-efecto

Permite organizar causas potenciales.

28.4. Matriz de decisión

Permite comparar alternativas.

28.5. Análisis FODA

Permite identificar:

- fortalezas;

- oportunidades;
- debilidades;
- amenazas.

28.6. Diagramas de flujo

Permiten representar procesos.

28.7. Mapas conceptuales

Permiten visualizar relaciones entre variables.

28.8. Modelos gráficos

Permiten representar espacialmente el problema.

29. El proceso iterativo de resolución

Es importante evitar presentar la resolución de problemas como una receta rígida.

Un proceso más realista sería:

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

↓

IDENTIFICACIÓN

↓

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

↓

FORMULACIÓN

↓

ANÁLISIS

↓

GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

↓

EVALUACIÓN

↓

DECISIÓN

↓

DISEÑO

↓

IMPLEMENTACIÓN

↓

VERIFICACIÓN

↓

RETROALIMENTACIÓN

Pero la retroalimentación puede llevarnos nuevamente a cualquiera de las etapas anteriores.

Por ejemplo:

Durante el diseño puede descubrirse que una solución es demasiado costosa.

Entonces:

diseño → evaluación económica → reformulación → nueva alternativa.

Esto es normal.

30. Ejemplo integrador: problema de inundación urbana

Para integrar todos los conceptos de la unidad se propone analizar el siguiente caso.

Situación

Un barrio presenta inundaciones durante lluvias intensas.

Los vecinos solicitan la construcción de un conducto pluvial.

La municipalidad solicita un proyecto.

Primera reacción

“Hay que colocar un conducto.”

Pero todavía no sabemos si esa es la solución correcta.

Paso 1 — Identificación

Se registra:

- ubicación;
- frecuencia;
- duración;
- profundidad del agua;
- viviendas afectadas;
- calles afectadas;
- antecedentes.

Paso 2 — Formulación

Se define el problema:

“Durante determinados eventos de precipitación, el sistema de drenaje existente resulta insuficiente para evacuar los escurrimientos generados en la cuenca urbana, produciendo anegamientos en sectores bajos del barrio.”

Paso 3 — Información necesaria

Se recopila:

- topografía;
- superficie de la cuenca;
- uso del suelo;
- precipitaciones;
- red existente;
- diámetros;
- pendientes;
- cotas;
- puntos de descarga;
- estado de mantenimiento.

Paso 4 — Identificación de causas

Podrían existir:

- insuficiencia hidráulica;
- obstrucciones;
- falta de captación;
- crecimiento urbano;
- modificaciones del terreno;
- aportes externos.

Paso 5 — Alternativas

Se plantean:

A. ampliar conductos;

- B. aumentar captaciones;
- C. construir reservorio;
- D. modificar el sistema de escurrimiento;
- E. controlar aportes aguas arriba;
- F. combinar soluciones.

Paso 6 — Evaluación

Se comparan:

- costo;
- capacidad;
- seguridad;
- mantenimiento;
- impacto ambiental;
- facilidad constructiva;
- disponibilidad de espacio;
- vida útil.

Paso 7 — Incertidumbre

Se analiza:

- crecimiento urbano;
- lluvias futuras;
- cambios de uso del suelo;
- mantenimiento;
- comportamiento de la infraestructura.

Paso 8 — Decisión

Se selecciona una alternativa o combinación de alternativas.

La decisión debe estar técnicamente justificada.

31. Otro ejemplo: puente

Supongamos que una comunidad necesita mejorar la conexión entre dos sectores separados por un arroyo.

La primera solución podría ser:

“Construir un puente.”

Pero nuevamente existen preguntas:

- ¿Qué tránsito tendrá?
- ¿Qué ancho necesita?
- ¿Cuál es el nivel de crecida?
- ¿Qué suelo existe?
- ¿Dónde conviene ubicarlo?
- ¿Qué luces son necesarias?
- ¿Qué accesos requiere?
- ¿Qué impactos tendrá?
- ¿Cuál es el presupuesto?
- ¿Qué alternativas existen?

Podrían estudiarse:

- puente;
- alcantarilla;
- badén;
- nuevo trazado;
- mejoramiento de un cruce existente.

La solución finalmente elegida dependerá de múltiples variables.

32. El ingeniero como tomador de decisiones

Tradicionalmente puede imaginarse al ingeniero como una persona que:

“sabe calcular.”

Pero el ejercicio profesional es mucho más amplio.

El ingeniero debe:

- interpretar necesidades;
- analizar información;
- formular problemas;
- evaluar alternativas;
- tomar decisiones;
- coordinar personas;
- administrar recursos;
- anticipar riesgos;
- comunicar resultados;
- asumir responsabilidades.

Por eso podemos plantear:

El cálculo es una herramienta del ingeniero; la decisión es parte central de su trabajo profesional.

33. Errores frecuentes al resolver problemas

Los estudiantes deberían reconocer algunos errores habituales.

Error 1

Comenzar a calcular sin comprender el problema.

Error 2

Aceptar automáticamente la solución propuesta por otra persona.

Error 3

Confundir síntoma con causa.

Error 4

No recopilar información suficiente.

Error 5

No identificar restricciones.

Error 6

Considerar únicamente aspectos técnicos.

Error 7

Elegir siempre la alternativa más económica.

Error 8

Ignorar mantenimiento y operación.

Error 9

No considerar incertidumbre.

Error 10

No verificar si la solución realmente resolvió el problema.

34. La solución técnicamente correcta puede no ser la mejor solución

Este concepto debería ser central en la unidad.

Supongamos que tenemos tres alternativas:

Alternativa A

Excelente comportamiento técnico.

Costo: muy elevado.

Alternativa B

Buen comportamiento técnico.

Costo: medio.

Impacto ambiental: bajo.

Alternativa C

Comportamiento técnico aceptable.

Costo: bajo.

Mantenimiento: elevado.

¿Cuál es la mejor?

No existe una respuesta automática.

Dependerá de:

- objetivos;
- restricciones;
- nivel de servicio;
- riesgos;
- recursos;
- contexto.

Por eso:

La ingeniería no consiste únicamente en encontrar una solución técnicamente posible, sino en encontrar una solución apropiada para un contexto determinado.

35. Ingeniería y ética

Toda decisión de ingeniería tiene consecuencias.

Una decisión incorrecta puede generar:

- pérdidas económicas;
- daños ambientales;
- accidentes;
- pérdidas humanas;
- afectaciones sociales.

Por eso la resolución de problemas no puede separarse completamente de la responsabilidad profesional.

El ingeniero debe considerar:

- seguridad;
- bienestar público;
- cumplimiento normativo;
- honestidad técnica;
- transparencia;
- protección ambiental.

Esto prepara al estudiante para comprender posteriormente el contenido de la **Unidad 3: Responsabilidad social y relaciones con el medio.**

36. Relación con las unidades siguientes

La Unidad 1 debe funcionar como fundamento de toda la materia.

Unidad 1

¿Cómo identificamos y resolvemos un problema?

↓

Unidad 2

¿Con qué recursos y cómo organizamos la producción de la solución?

↓

Unidad 3

¿Qué consecuencias tiene la solución sobre la sociedad y el ambiente?

↓

Unidad 4

¿Cómo podemos generar soluciones innovadoras y trabajar colaborativamente?

De esta manera, las unidades no son contenidos aislados.

Forman un único proceso:

PROBLEMA → RECURSOS → IMPACTO → INNOVACIÓN

37. Actividad práctica propuesta

Caso: “La obra que no resolvió el problema”

Se presenta a los estudiantes la siguiente situación:

En una zona urbana se producen inundaciones frecuentes. La municipalidad decide construir un conducto de mayor diámetro. La obra se ejecuta, pero después de finalizada continúan produciéndose inundaciones.

Preguntas

1. ¿Qué pudo haber ocurrido?
2. ¿Se identificó correctamente el problema?
3. ¿La solución atacó la causa o el síntoma?
4. ¿Qué información debería haberse recopilado?
5. ¿Qué variables deberían analizarse?
6. ¿Qué alternativas podrían haberse considerado?
7. ¿Qué incertidumbres existían?
8. ¿Qué impactos ambientales podrían producirse?
9. ¿Qué costos deberían considerarse además del costo de construcción?
10. ¿Cómo verificarían si una nueva solución realmente funciona?

El objetivo no es que los alumnos calculen.

El objetivo es que **aprendan a pensar antes de calcular**.

38. Actividad de formulación de problemas

Otra actividad consiste en entregar situaciones generales:

Caso A

“Hay mucho tránsito.”

Caso B

“Se corta el agua.”

Caso C

“Las calles están rotas.”

Caso D

“Hay problemas con la basura.”

Caso E

“El barrio se inunda.”

Los alumnos deben transformar cada situación en un problema de ingeniería correctamente formulado.

Por ejemplo:

“Durante eventos de precipitación superiores a determinado nivel, la capacidad de captación y conducción del sistema de drenaje resulta insuficiente, provocando anegamientos en las calles ubicadas en los sectores bajos de la cuenca.”

Después deben indicar:

- qué saben;
- qué no saben;
- qué información necesitan;
- cuáles son las posibles causas;
- cuáles son las restricciones;
- qué alternativas podrían existir.

39. Actividad de toma de decisiones

Se propone un problema en el que existan tres alternativas.

Los estudiantes deben establecer:

Criterios

- costo;
- seguridad;
- impacto ambiental;
- tiempo;
- mantenimiento;
- durabilidad;
- aceptación social.

Luego asignan una importancia relativa a cada criterio.

Por ejemplo:

Criterio	Peso
Seguridad	30 %
Costo	20 %
Impacto ambiental	15 %
Mantenimiento	15 %
Tiempo	10 %
Durabilidad	10 %

Después califican las alternativas y calculan una puntuación ponderada.

Esto permite introducir, sin necesidad de matemática avanzada, el concepto de:

decisión multicriterio.

40. Actividad final de la Unidad 1

Como actividad integradora, los estudiantes pueden trabajar en equipos sobre un problema real o ficticio de Ingeniería Civil.

Cada equipo deberá presentar:

1. Situación problemática

Descripción inicial.

2. Problema formulado

Redacción técnica del problema.

3. Contexto

Ubicación, población, infraestructura y condiciones.

4. Causas posibles

Identificación y clasificación.

5. Consecuencias

Técnicas, económicas, ambientales y sociales.

6. Información disponible

Datos existentes.

7. Información faltante

Datos que deberán obtenerse.

8. Restricciones

Técnicas, económicas, ambientales, sociales y normativas.

9. Objetivos

Qué se pretende conseguir.

10. Alternativas

Al menos tres soluciones posibles.

11. Criterios de evaluación

Cómo serán comparadas.

12. Decisión preliminar

Qué alternativa elegirían y por qué.

13. Incertidumbres

Qué aspectos podrían modificar la decisión.

41. Competencias que debería desarrollar el estudiante

Al finalizar la unidad, se espera que el estudiante sea capaz de:

- reconocer situaciones problemáticas relacionadas con la Ingeniería Civil;
- diferenciar problemas académicos de problemas profesionales;
- identificar necesidades y objetivos;
- formular problemas de manera clara;
- distinguir causas de síntomas;
- analizar problemas desde una perspectiva sistémica;
- reconocer dimensiones técnicas, económicas, sociales y ambientales;
- identificar restricciones;
- reconocer la existencia de incertidumbre;
- diferenciar datos, supuestos e hipótesis;
- generar alternativas de solución;
- establecer criterios para compararlas;
- participar en procesos básicos de toma de decisiones;
- justificar técnicamente una alternativa;
- comprender la responsabilidad asociada a las decisiones de ingeniería.

42. Conceptos fundamentales que el alumno debería llevarse

Al terminar la unidad, deberían quedar instaladas las siguientes ideas:

1.

Un problema de ingeniería no siempre viene definido.

El ingeniero muchas veces debe formularlo.

2.

El problema no es necesariamente el síntoma.

Hay que buscar causas.

3.

Todo problema tiene contexto.

La solución depende de dónde, cuándo y para quién se interviene.

4.

No existe necesariamente una única solución.

Generalmente existen alternativas.

5.

Toda solución tiene restricciones.

6.

Toda decisión tiene consecuencias.

7.

La incertidumbre es inherente a la ingeniería.

8.

La mejor solución no es necesariamente la más barata ni la técnicamente más sofisticada.

9.

El ingeniero debe comparar alternativas y justificar decisiones.

10.

Resolver un problema es un proceso iterativo.

43. Síntesis conceptual de la unidad

La Unidad 1 puede resumirse mediante el siguiente esquema:

NECESIDAD / SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

↓

OBSERVAR

↓

RECOPILAR INFORMACIÓN

↓

PREGUNTAR

↓

IDENTIFICAR CAUSAS

↓

FORMULAR EL PROBLEMA

↓

DEFINIR OBJETIVOS Y RESTRICCIONES

↓

ANALIZAR

↓

GENERAR ALTERNATIVAS

↓

EVALUAR

↓

CONSIDERAR RIESGOS E INCERTIDUMBRE

↓

TOMAR UNA DECISIÓN

↓

DESARROLLAR LA SOLUCIÓN

↓

VERIFICAR

↓

APRENDER / REFORMULAR

44. Cierre de la unidad

La formación de un ingeniero civil no consiste solamente en adquirir conocimientos técnicos y aprender procedimientos de cálculo. Una parte fundamental de la profesión consiste en desarrollar la capacidad de **comprender situaciones complejas y tomar decisiones responsables frente a ellas**.

Una estructura, una carretera, un puente o una red de drenaje no son solamente objetos físicos. Forman parte de sistemas sociales, económicos y ambientales.

Por ello, el proceso de resolución de problemas debe comenzar con una pregunta fundamental:

¿Cuál es realmente el problema que necesitamos resolver?

A partir de esa pregunta comienza el trabajo del ingeniero.

El ingeniero observa la realidad, recopila información, formula hipótesis, construye modelos, reconoce restricciones, genera alternativas, analiza riesgos, compara soluciones y finalmente toma decisiones.

Pero el proceso no termina cuando se completa un cálculo ni cuando se termina una obra.

La solución debe ser evaluada en función de su comportamiento real y de las consecuencias que genera.

Por eso, la resolución de problemas de ingeniería puede entenderse como un proceso permanente de:

comprender → analizar → decidir → actuar → verificar → aprender.

Esta forma de pensamiento constituye una de las bases fundamentales de la formación profesional del ingeniero civil.