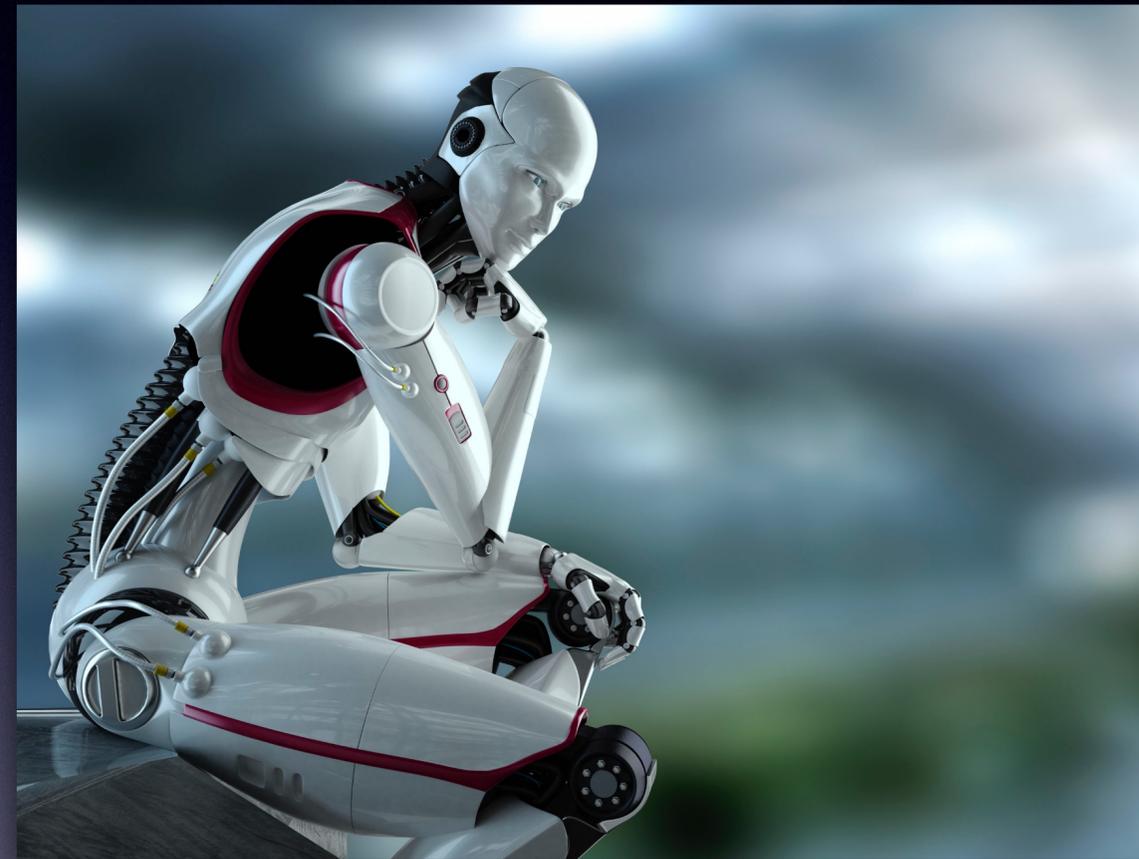




Filosofía científica



Grupo de Astrofísica Relativista
y Radioastronomía



Gustavo E. Romero

IAR-CONICET/UNLP, Argentina

2021

Heurística y metodología



For every complex problem there is an answer that is clear, simple, and wrong.

H. L. Mencken

La investigación científica consiste en descubrir plantear, tratar, y de ser posible resolver **problemas**. No todo problema es un **problema científico**: los problemas científicos son aquellos que se plantean sobre un trasfondo científico y se estudian con medios científicos y con el objetivo primario de incrementar nuestro conocimiento sobre el mundo y los mecanismos que operan en él.

Además de problemas científicos, hay problemas prácticos, tecnológicos, deportivos, etc.

Un problema en ciencia es el primer eslabón de una cadena:

Problema - Investigación - Propuesta de solución - Verificación y tests.

No hay algoritmos o métodos generales para la formulación de problemas ni de soluciones a los problemas encontrados. Muchas veces los problemas nuevos son sugeridos por los cursos tomados por investigaciones previas. Otras veces por modas o necesidades apremiantes.

Si bien no hay métodos generales, si se pueden formular estrategias de acción para encontrar y resolver problemas.

Una técnica heurística, a menudo llamada simplemente heurística, es cualquier enfoque de **resolución de problemas** u orientado a producir descubrimientos, que emplea **un método práctico**. No se garantiza que este método sea óptimo, perfecto, lógico o racional, sino que aspira a ser suficiente para alcanzar una meta inmediata de acuerdo a la experiencia previa.

La heurística es *aplicable a cualquier ciencia* e incluye la elaboración de medios auxiliares, principios, reglas, estrategias y programas que faciliten la búsqueda de vías de solución a problemas; o sea, para resolver tareas de cualquier tipo para las que no se cuente con un procedimiento algorítmico de solución.

Un algoritmo es un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permiten llevar a cabo una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba hacer dicha actividad. Dados un estado inicial y una entrada, siguiendo los pasos sucesivos se llega a un estado final y se obtiene una solución.

La heurística es necesaria porque no hay algoritmos de descubrimiento.

algoritmos de descubrimiento

Sin embargo, dado que hemos realizado muchos descubrimientos, podemos hacer indicaciones y sugerencias útiles para intentar resolver problemas generales

Las **técnicas heurísticas** son estrategias derivadas de experiencias previas con problemas similares.

La heurística más básica es la **prueba y error**, que se puede usar en toda clase de problemas. Ciertamente, la prueba y error no sirve de nada si no hay aprendizaje en el proceso.

El libro de George Pólya de 1945, *How to Solve it*, contiene numerosos ejemplos de tales reglas o procedimientos. Algunos de ellos:

- Si tiene dificultades para entender un problema, intente dibujar un esquema.
- Si no puede encontrar una solución, intente suponer que tiene una solución y vea qué puede obtener de ella.
- Si el problema es abstracto, intente examinar un ejemplo concreto.

Los procedimientos heurísticos como “*método científico*” pueden dividirse en **principios, reglas y estrategias**.

Principios heurísticos: constituyen sugerencias generales para encontrar la vía de solución para un problema. Dentro de estos principios se destacan la **analogía** y la **reducción (modelización)**.

Reglas heurísticas: actúan como **indicaciones generales** dentro del proceso de búsqueda y ayudan a encontrar los medios para resolver los problemas. Las reglas heurísticas que más se emplean son:

- Separar lo dado de lo buscado.
- Confeccionar figuras de análisis: esquemas, tablas, mapas, etc.
- Identificar las principales variables del problema.
- Determinar si ciertos comportamientos pueden representarse con funciones matemáticas adecuadas (“exactificar”)
- Etc

Estrategias heurísticas: son sugerencias organizativas del proceso de resolución, que contribuyen especialmente a determinar la vía de solución del problema abordado. Existen dos estrategias principales:

- **Método deductivo**: se parte de lo supuestos generales para realizar las deducciones que han de conducir a una propuesta de solución del problema: una hipótesis que luego debe ponerse a prueba.
- **Método inductivo**: se parte de casos conocidos y se generaliza a una hipótesis que luego es aplicada al caso concreto que se estudia, y se analizan las consecuencias y su consistencia con el conocimiento establecido.

El método deductivo o axiomático

Axiomatizar una teoría es establecer un conjunto de suposiciones iniciales tales que 1) den una caracterización suficiente de todos los conceptos básicos de la teoría, y 2) produzcan todos los enunciados (fórmulas) importantes de la teoría.

La **axiomatización** de una teoría no hace más que **organizar** y **completar** lo que había sido un cuerpo de conocimiento más o menos desordenado e incompleto: muestra la **estructura** de la teoría y **hace que los significados sean precisos**.

La axiomatización, aunque insuficiente, es necesaria para alcanzar la plena **madurez teórica**, ya que al axiomatizar una teoría:

- La estructura se vuelve **clara**.
- **No** se puede ir más allá de los supuestos dentro de la teoría.
- Si se desea ir más allá de los supuestos, hay que cambiarlos **resultando una nueva teoría**.
- **Revela si la teoría intuitiva o natural contiene tácitamente supuestos que son falsos o redundantes o simplemente inexplorados.**
- Se identifican las **hipótesis esenciales** o centrales.
- Se facilita la **exploración** de los resultados de cambiar ciertas suposiciones básicas.
- Se expone que las debilidades de la teoría se remontan a sus supuestos.
- **Se pueden identificar claramente los referentes y significados de los diferentes términos.**

Axiomatizar implica maximizar la articulación conceptual de una teoría.

El método inductivo

El **razonamiento inductivo** es una modalidad del razonamiento que consiste en **obtener conclusiones generales a partir de premisas que contienen datos particulares o individuales**. Por ejemplo, a partir de la observación repetida de objetos o eventos de la misma índole se establece una conclusión general para todos los objetos o eventos de dicha naturaleza.

Problema de la inducción: ¿existen inferencias generalizadoras que conserven la verdad?

Respuesta: No.

Hume: «Ningún número de observaciones de cisnes blancos nos permite inferir que todos los cisnes son blancos, pero la observación de un único cisne negro basta para refutar dicha conclusión».

La inducción sugiere hipótesis pero sus consecuencias deben ser puestas siempre a prueba.

Carnap: «inferencias lógicas probabilísticas». Según esta posición la esencia del razonamiento inductivo consiste en la determinación de valores de probabilidad de las hipótesis científicas en razón de los datos de experiencia.

Problema: la probabilidad *no* es un atributo de los enunciados ni de las proposiciones. Toda hipótesis científica es expresada por una proposición. La probabilidad es una medida de la propensión de ciertos eventos.

Las teorías generales no son directamente contrastables con la experiencia, sino solamente mediante casos particulares, con soluciones específicas, mediante la creación de modelos.

Cuanto más general sea una estructura conceptual, menor será la contrastabilidad empírica. Esto quiere decir que teorías tan generales como la teoría de la información, mecánica clásica o mecánica cuántica solo pueden ser contrastadas respecto a modelos teóricos específicos en el marco de dichas teorías, teniendo en cuenta que no siempre es posible saber qué es lo que hay que corregir en el modelo cuando el contraste empírico fracasa o, si por el contrario es la propia teoría general la que contiene el error.

Problemas

En ciencia empírica, la mayor parte de los problemas que enfrentemos son *problemas inversos*.

Un problema es una situación en la que conocemos ciertas cosas y desconocemos otras, y en la cual a partir de lo que conocemos queremos hallar lo que desconocemos.

Clasificación de los problemas

- Problemas que no tienen solución, y que por tanto en los que nada puede hacerse. Estos casos son clasificados como **problemas indecidibles**.
- Problemas que tienen **solución algorítmica**, y que por lo tanto pueden resolverse paso a paso, codificando y aplicando los algoritmos para su resolución.
- Problemas que no están en las clases anteriores. En este grupo podemos tener problemas **no algorítmicos**.

Antes de intentar resolver un problema debemos conocer:

¿Cuáles son los datos relevantes?

¿Cuáles son los límites de las soluciones posibles?

¿Qué es lo que caracteriza una solución satisfactoria?

Luego el problema se caracteriza como un cuadruplete:

$$P = (D, O, C, X),$$

donde D es *un conjunto de datos*, O un *conjunto de operaciones admisibles* sobre los elementos de D , y C *un conjunto de condiciones que caracterizan una solución aceptable* de P , y X es el conjunto solución del problema. Resolver el problema es hallar el conjunto X , usando O y basándonos en D , que satisface las condiciones C .

Problemas directos

Un problema es directo si $D \xrightarrow{O} C(X)$, o sea **si es posible obtener a partir de los datos la solución en forma unívoca** usando las operaciones O .

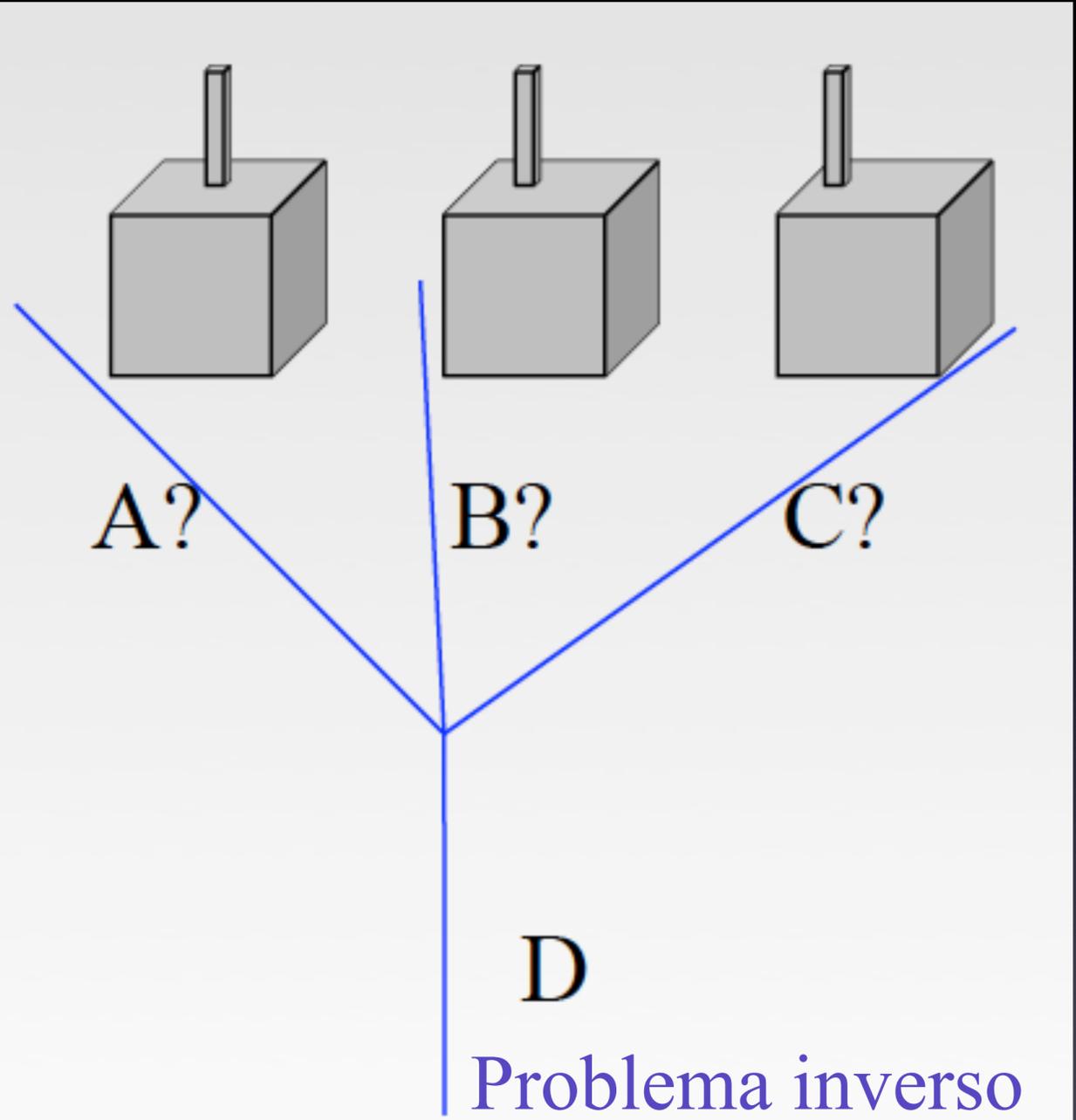
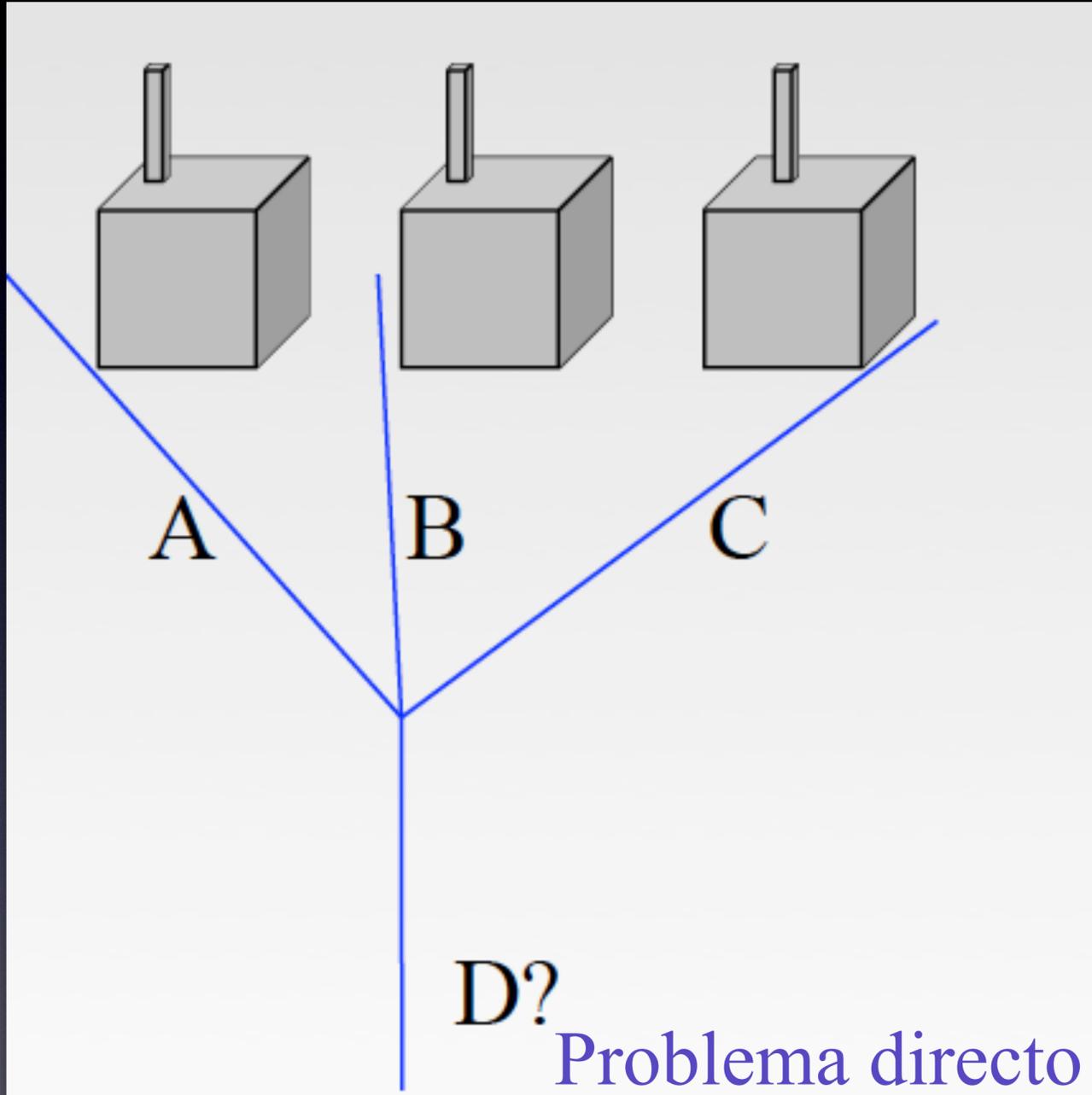
En un problema directo poseemos un modelo de un objeto y evaluando con ciertos datos obtenemos un conjunto de predicciones de los valores de propiedades del objeto. O sea el **problema directo va de las causas a los efectos**.

Problemas inversos

En un problema *inverso* se conocen los efectos de algún proceso o procesos y se trata de hallar las causas.

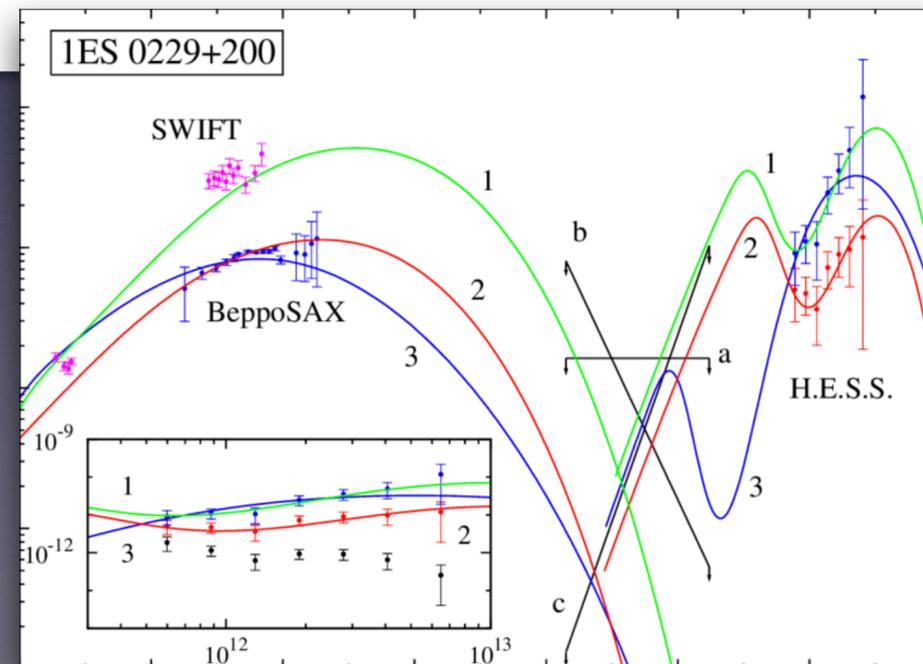
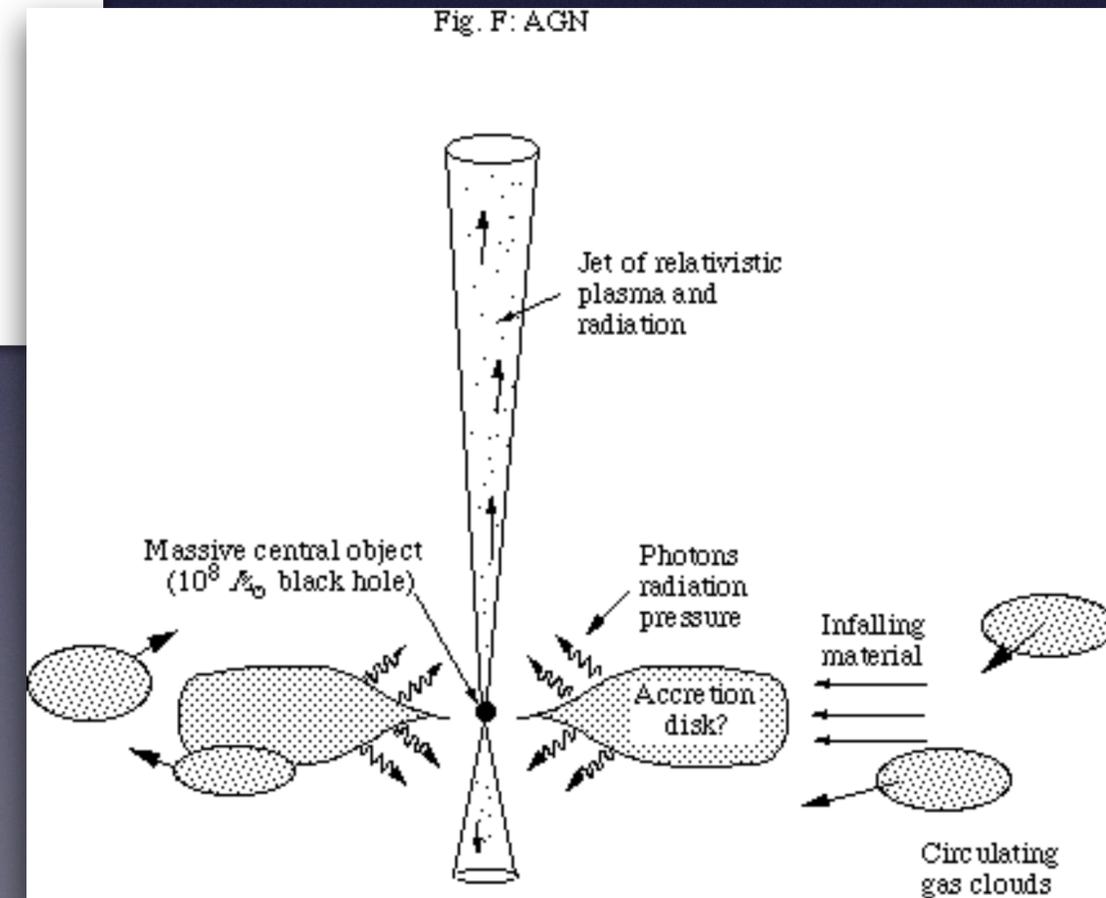
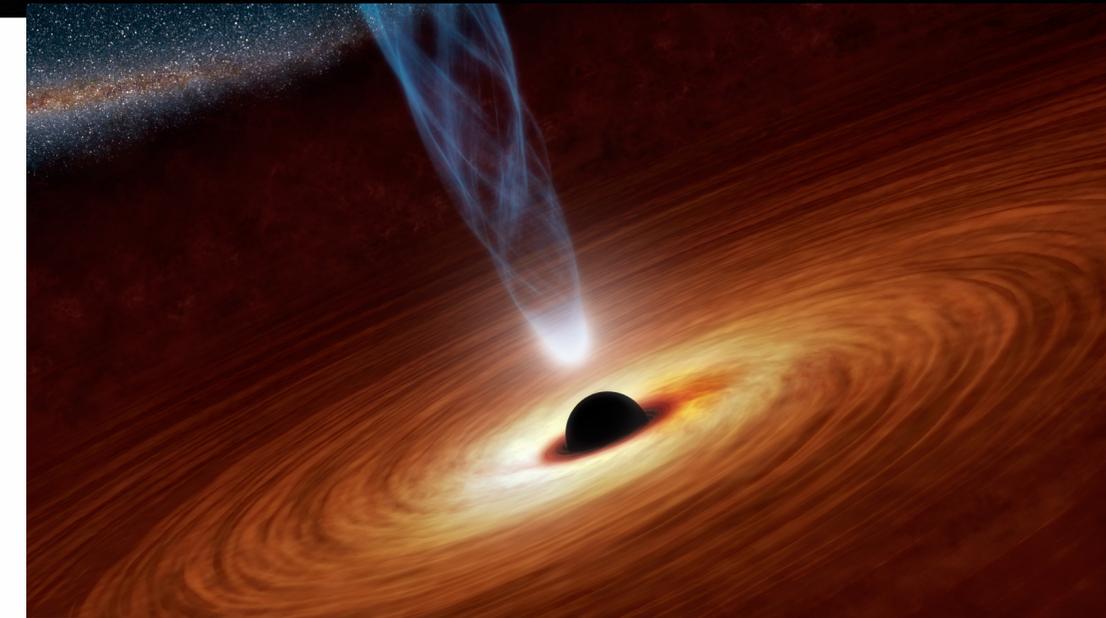
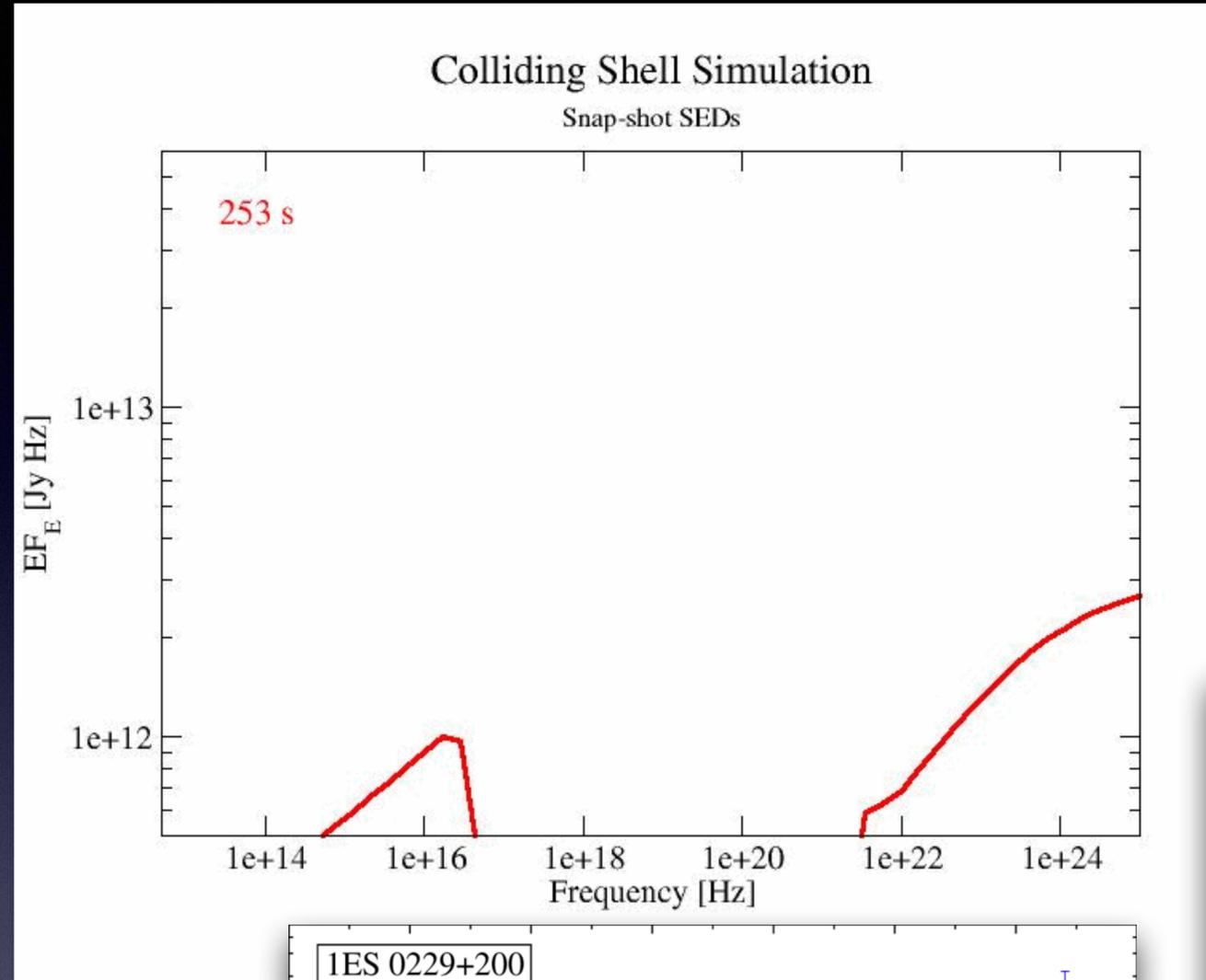
Podríamos decir que un problema inverso es un problema donde la respuesta es conocida, pero no la pregunta.

La solución del problema inverso suele ser un modelo que permite deducir los observables. En general esta solución *no es única*.



Active galactic nuclei

¿Cómo es el objeto dada la radiación que emite?



Tres preguntas fundamentales

- ¿Con qué precisión se conocen los datos?
- ¿Con qué precisión podemos modelar la respuesta del sistema?
- ¿Qué es lo que se sabe sobre el sistema independiente de los datos?

Información a priori

- A menudo muy importante.
- Para cualquier parametrización de un sistema siempre habrá modelos incorrectos que se ajustan a los datos también.
- La información previa es el medio por el cual los modelos incorrectos son rechazados.

Formulación general

Un problema inverso se puede formular en la forma:

$$d = G(m)$$

donde G es un operador que describe la relación explícita entre los datos (d) y los parámetros del modelo (m).

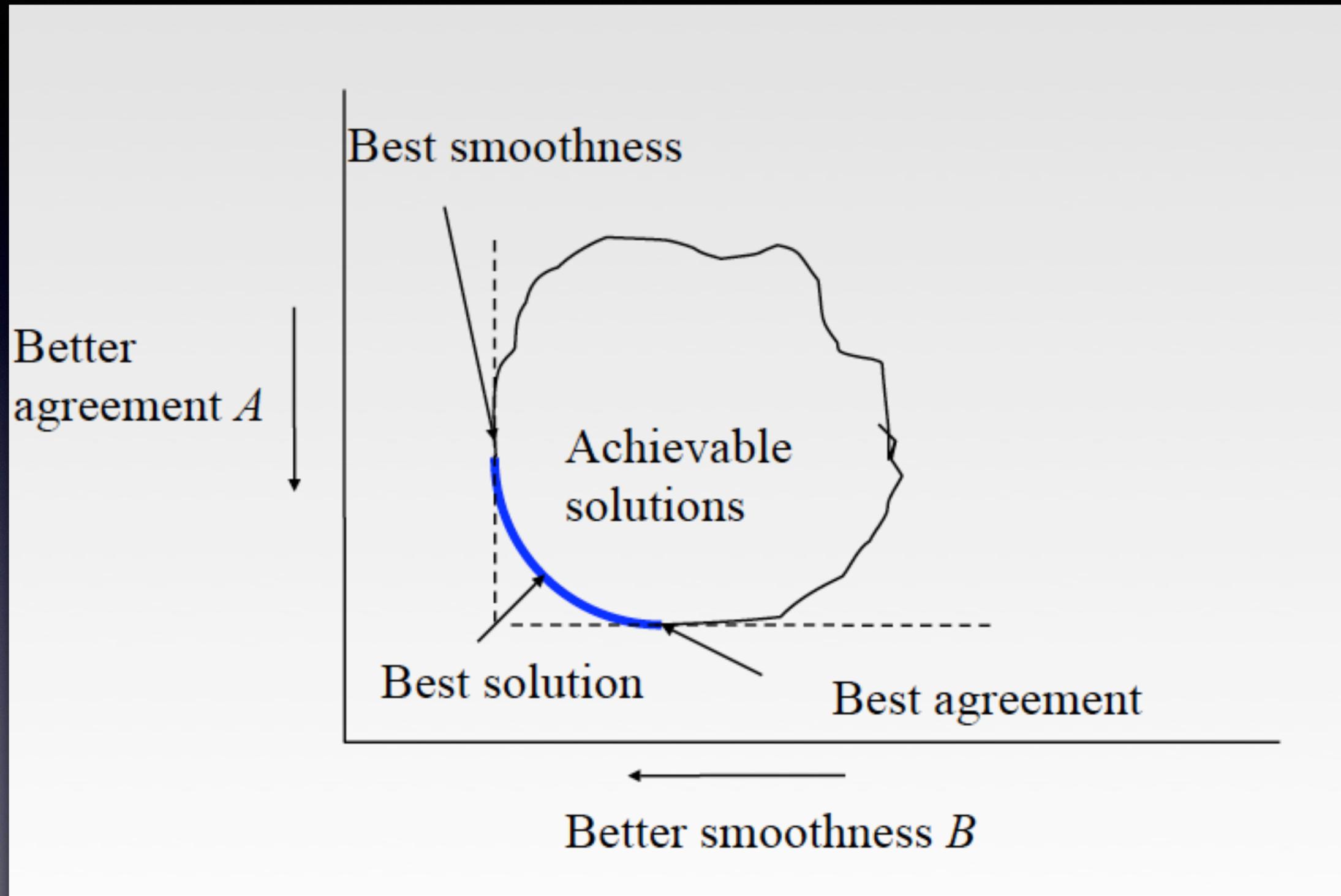
- ❖ G es una representación del sistema físico.
- ❖ Para problemas lineales, d y m son vectores y G es una matriz.
- ❖ Lo que se quiere determinar son los valores de m .

Problemas bien formulados (*well-posed*)

- Existe una solución.
- La solución es única.
- La solución depende continuamente de los datos, en alguna topología razonable.
- Problemas que no están bien formulados en este sentido se denominan problemas mal formulados (*ill-posed*).
- Los problemas inversos a menudo están mal formulados (la solución suele no ser única).

Regularización

- Si un problema está bien formulado, entonces es posible que exista una solución determinable con una computadora usando un algoritmo estable.
- Si el problema no está bien formulado, necesita ser reformulado para el tratamiento numérico.
- Por lo general, esto incluye la inclusión de supuestos, como la suavidad de la solución. Este proceso de idealización se llama regularización.
- En general, un problema inverso mal formulado puede pensarse como consistente en dos funcionales positivos A y B .
- A mide el acuerdo de las medidas del modelo a los datos. Si solo se minimiza A , el acuerdo se convierte en increíblemente bueno, pero la solución es inestable o poco realista.
- B mide la suavidad de la solución deseada. Minimizar B da una solución que es "suave" o "estable" y no tiene nada que ver con las medidas.



Algunas recomendaciones metodológicas para la investigación

Investigar es producir en forma sistemática conocimiento original verificable y de valor para la resolución de problemas.

Investigar NO es:

- Descubrimiento accidental.
- Coleccionar datos.
- Leer libros o artículos sobre un tema.
- Especular, idear, inventar.

Investigar es:

- Búsqueda de explicación de eventos, fenómenos, relaciones y causas.
 - * ¿Qué, cómo y por qué ocurren las cosas?
 - * ¿Qué interacciones tienen lugar entre las cosas?
- Un proceso
 - * Planificado y gestionado - para hacer creíble la información generada.
 - * Creativo.
 - * Circular - siempre lleva a más preguntas.
 - * Los investigadores son responsables de ayudar a otros a comprender las implicaciones de la investigación.
- La investigación pública es un bien público.

Investigación básica y aplicada

- **Básica:** es realizada para determinar o establecer hechos y relaciones fundamentales dentro de una disciplina o campo de estudio. Desarrollar teorías y modelos. Explicar fenómenos.
- **Aplicada:** es realizada específicamente con el propósito de obtener información para ayudar a resolver un problema en particular.

La distinción entre ambos tipos de investigación está en la **aplicación**. La Investigación básica tiene poca aplicación a la gestión del mundo real, pero **es esencial a nuestro conocimiento del mundo y para guiar la investigación aplicada**.

No hay investigación aplicada sin investigación básica

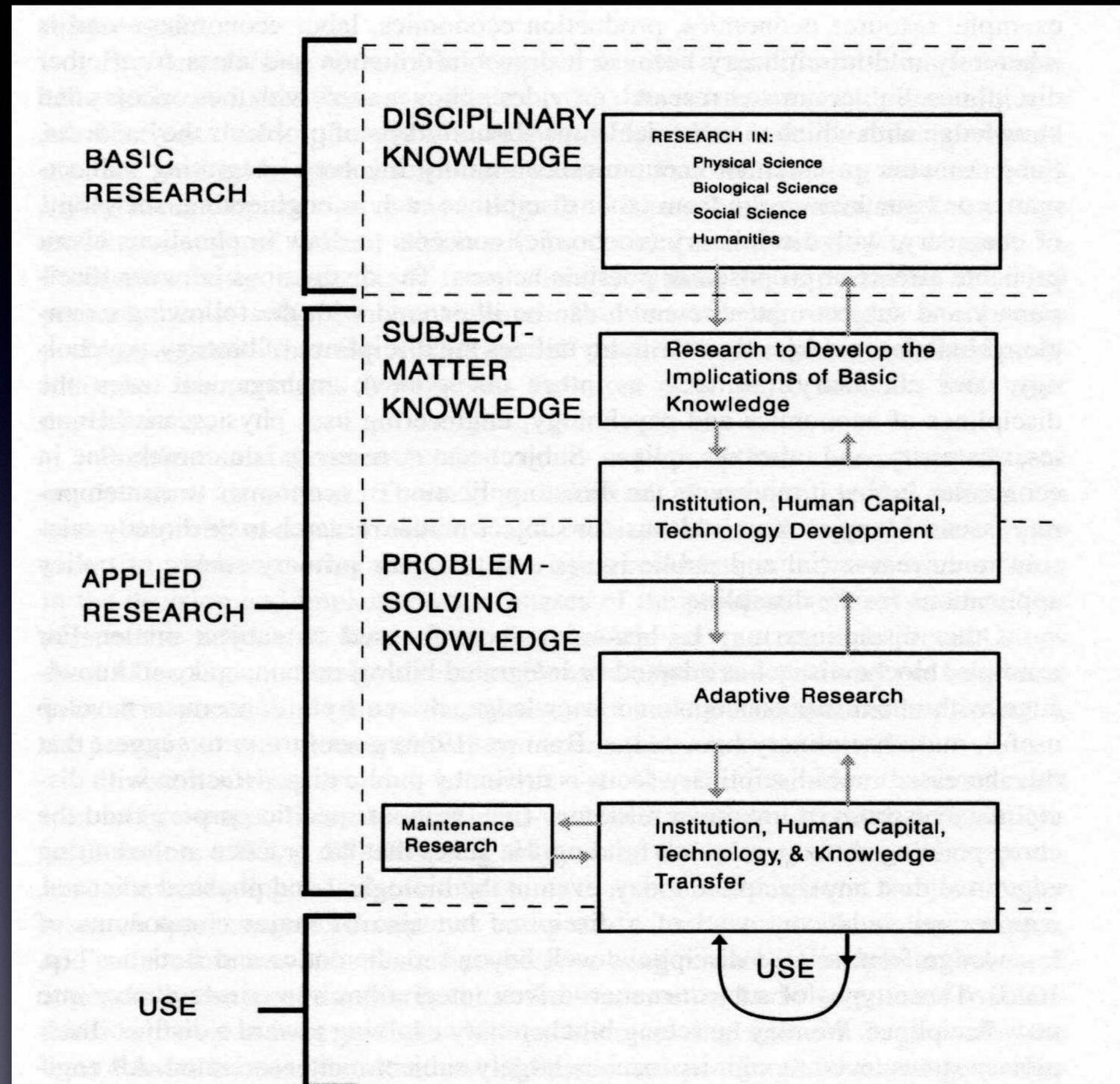


Figure 2.1. Relationship among research, knowledge, and use (Bonnen, 1986).

Metodología y método son a menudo confundidos.

Metodología: el estudio del enfoque general y estrategia de la investigación en un campo determinado.

Método: las técnicas, herramientas o procedimientos específicos que se aplican para lograr un objetivo determinado.

Metodología general de la investigación

- El proceso se inicia con una pregunta o **problema** (paso 1).
- A continuación, se formulan **metas y objetivos** para abordar la pregunta o el problema (paso 2).
- Luego se desarrolla el **diseño de investigación** para lograr los objetivos (paso 3).
- **Generación de resultados** al realizar la investigación (paso 4).
- Se presenta la **interpretación y el análisis** de los resultados (paso 5).
- Se realizan controles de la investigación y sus resultados (paso 6).
- Se comunican los resultados (paso 7) y son evaluados por otros expertos.

Metodología general de la investigación

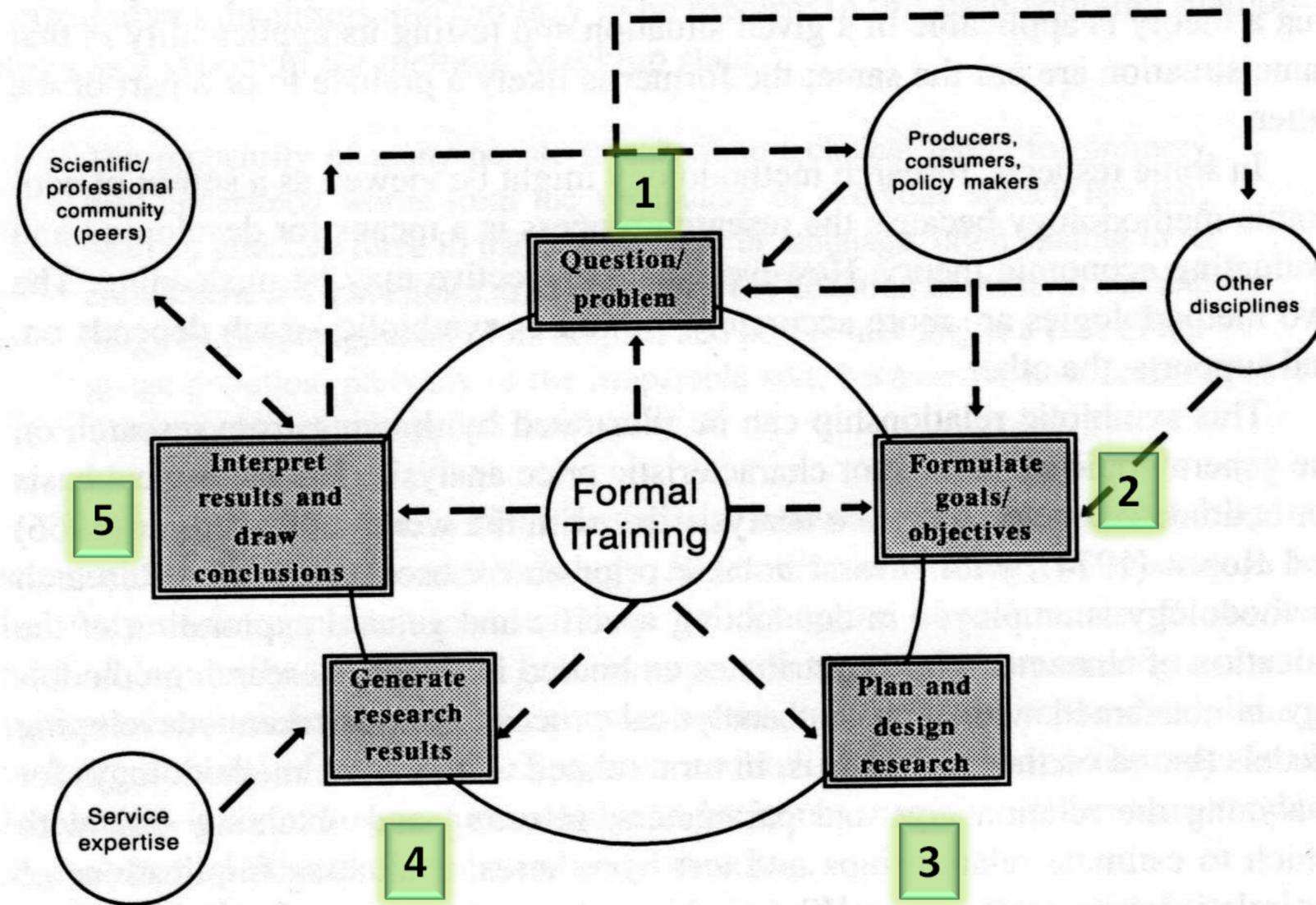


Figure 2.2. Schematic of research process.

La investigación es un **proceso creativo**.

La investigación requiere (o al menos funciona mejor) con imaginación, iniciativa, intuición y curiosidad.

Existen diferentes tipos de creatividad, característicos de diferentes situaciones.

La creatividad puede ser estimulada

- Recopilar y utilizar conocimientos previamente desarrollados.
- Intercambiar ideas.
- Aplicar la lógica deductiva.
- Mira las cosas de maneras alternativas.
- Hacer suposiciones informadas y estudiar sus consecuencias.
- Búsqueda de patrones o relaciones.
- Toma de riesgos.
- Cultivar la tolerancia a la incertidumbre.
- Cuestionar suposiciones usualmente aceptadas.
- Permitir que la curiosidad crezca.
- Dejar de lado los problemas ... y volver a ellos luego de haberse dedicado a otra cosa.
- Permitirse ocio para pensar.

La creatividad puede proporcionar la diferencia entre la investigación satisfactoria y la sobresaliente.

Proyectos de investigación

Los problemas científicos vienen en todo tipo y tamaño. Pueden ser **locales o sistémicos**, y pueden ser abordados por expertos o por equipos multidisciplinares.

Los pequeños problemas requieren el uso de herramientas conocidas que se encuentran en circunscriptas a campos específicos, mientras que los grandes problemas requieren más investigación, que puede requerir investigaciones interdisciplinarias.

Los proyectos de investigación son planes elaborados para resolver familias de problemas relacionados.

Concepto de proyecto de investigación

$$RP = \langle F, A, P, D, M, C, O, G, R, I \rangle$$

F = El conjunto de **presuposiciones filosóficas** adoptadas por los investigadores.

A = El **cuerpo de conocimiento** existente relevante.

P = La **problemática**, o sea los huecos epistémicos a llenar.

D = El **dominio**, o sea la clase de referencia o universo del discurso de la familia de problemas.

M = Los **medios y métodos** que se utilizarán.

C = El **conjunto de cosas naturales o artificiales** que se van a manipular.

O = Los **objetivos** de la investigación propuesta.

G = El **plan** o bosquejo del curso de acción, desde el planteamiento del problema hasta verificación de resultados.

R = El **resultado** o los hallazgos de la investigación.

I = El **impacto** o posible efecto del resultado en otros proyectos o incluso disciplinas enteras.

Evaluación de proyectos de investigación

Al evaluar un proyecto de investigación hay que analizar si:

- Su filosofía es **coherente**.
- Sus **antecedentes (investigaciones previas)** están actualizados.
- Los **problemas a resolver están bien planteados** y no son ni triviales ni demasiado ambiciosos pero si relevantes para el progreso del campo de conocimiento de que se trate.
- Su **dominio es parcialmente conocido y accesible en principio**.
- Sus **métodos son escrutables, impersonales y perfectibles**.
- Sus principales **objetivos son encontrar nuevas verdades** en el caso de la ciencia básica, y **artefactos novedosos de posible utilidad práctica** en los casos de ciencia aplicada y tecnología.
- Su plan de **investigación puede ejecutarse con los medios previstos (factible)**.
- Los resultados esperados son **reproducibles** por otros equipos equipados de manera similar.
- Si la solución a su(s) problema(s) central(es) constituye una contribución al conocimiento o bienestar.



www.fond-ecran-image.com

¡Gracias!

Tipos de problemas inversos

- No lineal y discreto:

$$d=G(m),$$

m y d son vectores de longitud finita y G es una función

- Lineal y discreto:

$$d=Gm,$$

m es un vector de M incógnitas, d es un vector de N datos y G es una matriz $M \times N$.

- Linealizado:

$$\partial d=G\partial m,$$

pequeñas perturbaciones en los parámetros del modelo dan pequeñas diferencias las predicciones.

Tipos de problemas inversos

- Lineal y continuo:

$$\int_a^b g(s, x)m(x)dx = d(s)$$

- No-lineal y continuo:

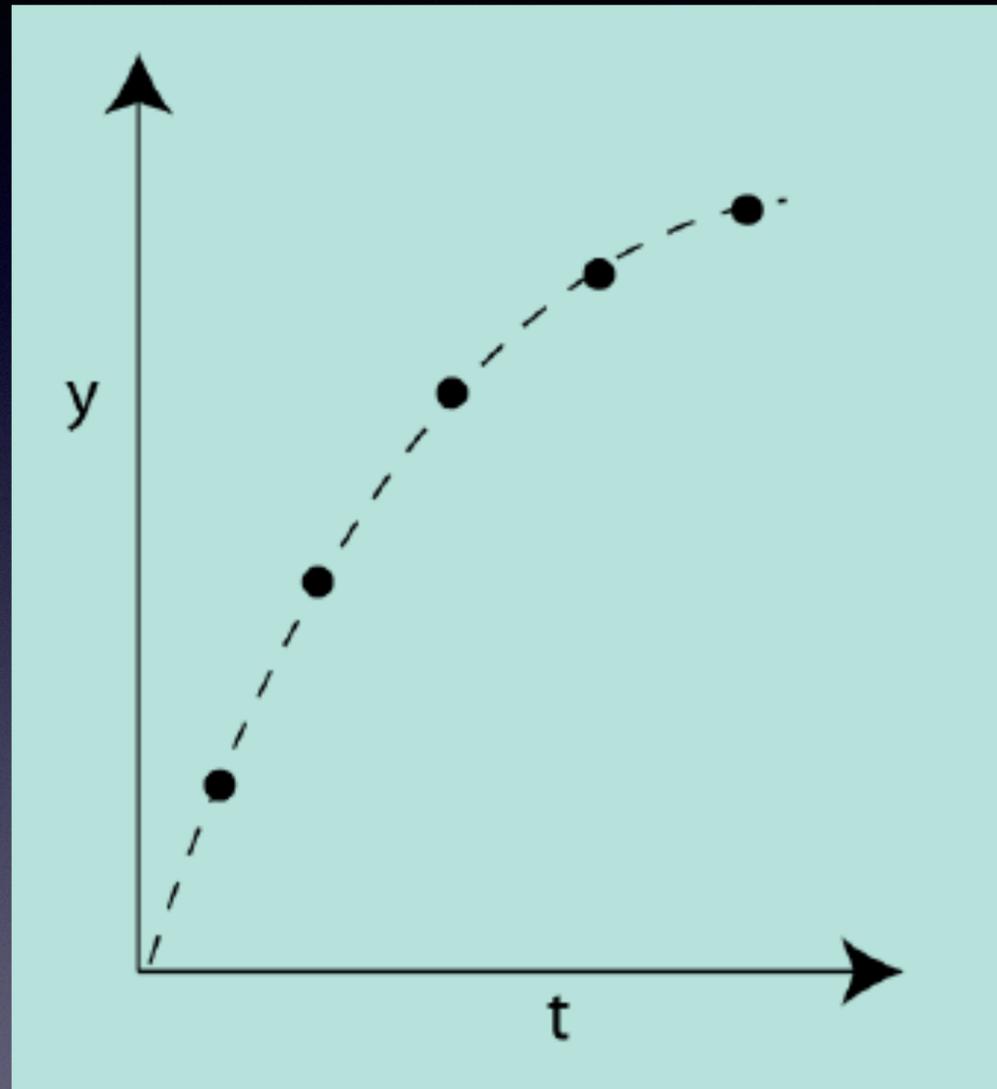
$$\int_a^b g(s, x, m(x))dx = d(s)$$

Un operador lineal satisface:

$$G(m_1 + m_2) = G(m_1) + G(m_2)$$

$$G(\lambda m) = \lambda G(m)$$

Ejemplo Trayectoria balística



$$d = Gm$$

$$d = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T$$

$$m = [m_1, m_2, m_3]^T$$

$$G = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & -1/2t_1^2 \\ 1 & t_2 & -1/2t_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_M & -1/2t_M^2 \end{pmatrix}$$

$$y = m_1 + m_2t - \frac{1}{2}m_3t^2$$

$$\begin{aligned} T_1 &= a + bt_1 + ct_1^2 \\ T_2 &= a + bt_2 + ct_2^2 \\ &\vdots \\ T_N &= a + bt_N + ct_N^2 \end{aligned}$$

Forma matricial:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_N & t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

d = G m