

El método inductivo y la enseñanza de las ciencias (y II)

En un artículo anterior expusimos un esbozo sobre el tema de la inducción. Consideramos de interés mostrar a continuación varios ejemplos que pueden ser realizados en el aula, laboratorio o campo. Dada la profusión de procedimientos inductivos es imposible exponer un ejemplo de cada uno de ellos, ni siquiera sería interesante. Cada profesor puede profundizar en el tema y estudiar otros ejemplos, ajustándolos a su realidad concreta.

Desiderio Fernández Manjón

1. Ejemplos de inducción por enumeración simple:

Dos ejemplos interesantes de índole experimental para niveles básicos (10 a 12 años). Ninguno de los dos, a pesar de su apariencia, es simple. Es preciso implantar estos modos de proceder en la enseñanza.

1.1. Ejemplo de generalización cuantitativa o métrica: «Medición del tiempo de caída libre desde una altura a, de cuerpos sólidos que se diferencian en: volumen, forma y masa».

a) Condiciones de experimentación:

- No conviene que un a determinada sea referida a la misma vertical de lugar; de este modo se hace el estudio más generalizable.
- Excluimos hojas de árbol, trozos de tela, papeles y plásticos ligeros, entre otros. Pero habrá que decírselo a los alumnos, indicándoles con claridad las pausas.

b) Realizando la experiencia en las condiciones indicadas se encuentra, para una determinada a:

- C1 (cuerpo 1) tarda 5 segundos en llegar al suelo,
- C2 (cuerpo 2) tarda 5 segundos en llegar al suelo,
- C3 (cuerpo 3) tarda 5 segundos en llegar al suelo.

Luego podemos concluir:

Todo cuerpo, cualquiera sea su forma, volumen y masa, cuando se le deja caer libremente desde la altura a tarda 5 segundos en tocar el suelo (1).

c) A partir de aquí cabe inducir nuevas generalizaciones. Para ello continuamos tirando los mismos cuerpos desde otras alturas; primero todos desde la altura b, luego desde c, etc. Anotar y extraer conclusiones.

d) Es el momento de poder enunciar silogismos deductivos, como por ejemplo:

Dada la premisa (1), si C es un cuadrado de hierro, **entonces** si dejamos caer el cuerpo C desde una altura a libremente tarda en llegar suelo t segundos.

1.2. Ejemplo de generalización cualitativa: «Test del clorhídrico con el mármol»

Presentamos trozos de distintos mármoles: blancos, negros, veteados, rosas, etc. Es posible conseguirlos en marmolerías.

Se encuentra lo siguiente:

En el t_1 (trozo 1) se producen burbujas cuando se le echa clorhídrico.

En el t_2 ocurre el mismo fenómeno.

En el t_3 ocurre el mismo fenómeno.

Luego: en todos los trozos de mármol se producen burbujas cuando en ellos se echa clorhídrico.

A partir de estos datos y esta conclusión caben nuevas generalizaciones tras nuevos experimentos: muchos otros ácidos se ponen en contacto con el mármol. Asimismo, se ponen los ácidos en contacto con otros materiales que poseen caliza.

Podremos introducir también el silogismo deductivo y pronunciar frases tan asentadas como las que suelen hacer los profesores en sus monólogos y los técnicos en sus discusiones: «No dejes el frasco de ácido encima de la mesa de mármol, no vaya a ser que algunas escorreduras lo ataquen». «Este ácido está muy diluido y apenas afectará al mármol».

En ambos ejemplos han de destacarse ante los alumnos las restricciones impuestas. Ya expuse algo en torno a la debilidad de este procedimiento al comentar las limitaciones de la Ley de Bode-Titus. Pero hay otros muchos ejemplos que deben hacernos precavidos en el uso de este procedimiento inferencial. Imaginemos que medimos el crecimiento de una rama de un cierto árbol y lo hacemos periódicamente durante los meses de marzo, abril y mayo, y observamos un crecimiento aproximadamente lineal. Los alumnos, en especial los del medio urbano, fácilmente podrían inducir un resultado erróneo extrapolar las conclusiones de linealidad a todo árbol y durante todo el año.

2. Ejemplo de inducción probabilística por enumeración:

Es muy interesante para niveles básicos y medios. En especial es fácilmente experimentable en fenómenos vitales y conductuales.

Sea el estudio del arraigo de plantas en función de ciertos cuidados.

Pueden encontrarse resultados como éstos:

La planta p1 a la que no se regó, se secó.

La planta P2, a la que no se regó, agarró.

La planta p3, a la que no se regó, se secó.

La planta p4, a la que no se regó, se secó.

La p5, a la que no se regó, se secó.

La p6, a la que no se regó, se secó.

La p7, a la que no se regó, agarró.

La p8, a la que no se regó, se secó.

La p9, a la que no se regó, se secó.

La p10 a la que no se regó, agarró.

La p11 a la que no se regó, se secó.

Luego: Hay una alta probabilidad de que se sequen los árboles de la especie e sembrada en tal terreno y en unas condiciones climáticas concretas, si no son regados.

Podríamos también saber el porcentaje aproximado de árboles que se secan por falta de regadío y los que arraigan a pesar de esta falta. Mejor aún: contabilizar los árboles secados m y el total de los plantados n y decir que la frecuencia de secado es m/n . Y si fuesen muy numerosos, tras un muestreo adecuado, enunciar la probabilidad de secado: m/n .

3. Un proceso inductivo más complejo:

Lo seguiremos con una serie de experimentos sobre «Cambio de estado físico de ciertos cuerpos».

Es un trabajo, muy apropiado para niveles medios. El tiempo a emplear no es inferior a 4 horas de laboratorio.

3.1. Los experimentos los hemos realizado con parafina y naftalina. El proceso es más rápido con el segundo cuerpo.

Consideraré el cambio regresivo (solidificación), pues para controlar el proceso progresivo (fusión) necesitaríamos bañomaría y es bastante más complejo el montaje.

3.2. Precauciones indispensables para esta experiencia:

- a) Detectar el error de cero de los termómetros.
- b) Controlar la variable superficie de contacto con el agua del baño o con el aire. Tomar la precaución de que proporcionalmente exista la misma cantidad en cada caso.
- c) Si fuera posible debiéramos tener dentro de la masa, al menos, dos termómetros: uno próximo a las paredes y otro hacia el centro de la misma (figura 1).
- d) Derretir completamente toda la masa; retirar el mechero y meter el termómetro.

3.3. Variables a que se somete el fenómeno:

- a) La naturaleza del cuerpo.
- b) La masa: para cada cuerpo tomaremos masas distintas en cada proceso; por ejemplo: m , $2m$, $3m$, $4m$; tanto para la parafina como para naftalina.

3.4. Procedimiento:

- a) Montaje: el que se indica en la figura número 2.
- b) Conviene ensayarlo previamente con ambos cuerpos, para que capten las características del fenómeno. Pueden tomarse algunas medidas.
- c) Tras este tanteo previo han de comenzar a medir: en un principio conviene tomen las temperaturas cada minuto; cuando la solidificación esté ya bastante avanzada, pueden tomarse cada 2 ó 3 minutos.

Si no hay mucho tiempo conviene repartir el trabajo: la naftalina lo estudian unos grupos y la parafina otros.

En cada grupo deben distribuirse las tareas de modo que logren la máxima precisión: alguien hace la lectura de tiempos, otro la lectura de temperaturas y controla la posición adecuada del termómetro, un tercero toma los datos, etc.

d) Construir las gráficas tiempos-temperaturas superpuestas en un mismo papel para la naftalina y en otro para la parafina (figura 3). Y construir gráficas para la misma masa en el mismo papel para ambos cuerpos (figura 4).

Otra variante más del experimento: para igualdad de masa se puede dejar un enfriamiento al ambiente y otro cubriendo el bulbo del tubo en hielo; en este caso las medidas de tiempo pueden hacerse cada 5 ó 10 segundos. Pueden construirse las gráficas y comparar resultados. También pudieran introducirse impurezas (granos de sal, de azúcar, arena, etc.) y ver si influyen en la solidificación.

e) Tras la experimentación pueden efectuarse preguntas de este tipo:

- ¿Por qué causa comienza antes la solidificación en las paredes del tubo?
- ¿Influye la masa de los cuerpos en las temperatura de solidificación?
- ¿Presenta alguna característica especial la gráfica durante el tiempo de solidificación?
- ¿Pierde calor el cuerpo durante el tiempo en que parece que no varía la temperatura?
- ¿Sería posible detectar el inicio de la solidificación con exactitud?

Aprovechar para introducir la diferencia entre calor y temperatura.

3.5. Inferencias y precauciones:

¿Qué tipo de inducciones pueden hacerse a partir de sólo 3 ó 4 experimentos sobre una sola o dos sustancias? ¿Son generalizables estos resultados a todas las sustancias? ¿Se cumplirá en las sustancias siguientes: azufre, yodo, mantequilla, grasa animal, brea, etc.?

Hay que evitar generalizaciones fáciles y alegres del estilo: «Todos los cuerpos en el cambio de estado permanecen a una temperatura fija». No es admisible un juicio así, puesto que ni siquiera estos cuerpos lo cumplen a la perfección, como se ve. Cuanto menos los metales y aleaciones cuyo diagrama de fases es tan complejo.

Acostumbrémonos a ser más modestos y cautos, frente a esas generalizaciones pedagógica y científicamente tan erróneas que suelen encontrarse en libros de todos los niveles educativos.

Este lenguaje cauto, pero riguroso, puede desalentar a los alumnos acostumbrados a declaraciones ampulosas y de gran generalidad; sin embargo, ni les induce errores irreparables ni les desalienta con formulaciones tan grandilocuentes y les posibilita seguir indagando y ver la modestia con que se hace la ciencia.

Lo importante es que todas las inferencias se las cuestionen; para ello es conveniente invitarles a reflexionar y a ensayar, lo cual se conseguirá optimizar controlando, mejorando y ajustando las propias condiciones iniciales de experimentación, entre otras.