

# SOLUCION DE PROBLEMAS EN LA INVESTIGACION TECNOLOGICA

DAVID ZIMAN B.\*

La solución de un problema es una secuencia de acciones que conducen a una meta definida.<sup>1</sup> Cada problema es original y, por lo tanto, no existe un procedimiento único que garantice su solución. Al respecto, McPherson<sup>2</sup> analiza 18 procedimientos e indica los pasos a seguir en cada uno. Pero, en general, en la solución de cualquier problema se pueden identificar cuatro etapas **definición del problema, plan de solución, control de la solución, comunicación de resultados.**<sup>3 4</sup>

## Definición del Problema

Para resolver un problema hay que contar con toda la información disponible y hacerla lo más explícita posible. La información debe incluir los datos, las operaciones y los objetivos.<sup>5</sup> Además, todo problema se ubica dentro de un marco de referencia: la concepción que el investigador tiene del ámbito del problema. Así, aunque se trate de asumir una actitud objetiva frente a un problema, siempre estará presente este marco, determinado por la formación, la experiencia previa y la ideología del investigador. Este marco puede introducir restricciones inexistentes que limiten la solución.

La información necesaria para definir el problema se puede adquirir de diferentes maneras. La más obvia es a través de la investigación documental libros, revistas, reportes y patentes.<sup>6</sup> En muchos casos es necesario obtener opiniones y consejos de los autores de los artículos y libros consultados, así como contar con el apoyo de especialistas en algunos de los aspectos que abarca el problema. En ocasiones, para determinar la frontera del conocimiento se debe recabar información técnica o comercial de fabricantes de productos o equipos relacionados con el problema.<sup>7</sup>

El investigador recurrirá a todas estas fuentes para delimitar los objetivos y restricciones del problema a través de preguntas acerca de qué hacer, cómo hacerlo y qué técnicas usar. Con esta información, se puede dedicar a encontrar la solución del problema.

Los **datos** y las **operaciones** establecen, dentro del marco de referencia, el universo del problema en el momento de empezar a trabajar. Su conocimiento permite al investigador entender y precisar el problema, identificar las lagunas de conocimiento y seleccionar las técnicas de solución más adecuadas, en función de los **objetivos** deseados.

Los **datos** constituyen la información sobre el estado inicial del proceso que se desea transformar. Si se trata de resolver un problema de ajedrez, los **datos** son las piezas de cada jugador, su posición en el tablero y el conocimiento acerca de quién debe mover. Estos **datos** están enmarcados por la experiencia previa del jugador, su conocimiento de diversas estrategias de juego y la actitud y la experiencia del contrario Si el problema es fabricar un objeto, los **datos** son los materiales, la infraestructura industrial, las condiciones económicas, la mano de obra disponible y, en el marco de referencia intervendrán, entre otros factores, las concepciones acerca del sistema económico, de la obtención de utilidades, de los derechos humanos de los trabajadores y de la comunidad en general.

---

\* I.P.N. Profesor, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Investigador, Proyecto de Estudios Sociales, Tecnológicos y Científicos.

<sup>1</sup> Wickelgren, W. A., How to Solve Problems, San Francisco, Freeman, 1974, p.10.

<sup>2</sup> McPherson, J. H., "The People, the Problems and the Problem Solving Methods", Journal of Creative Behavior, 1968 No 2, p. 2.

<sup>3</sup> Polya, G., Cómo plantear y resolver problemas, México, Trillas, 1981, pp. 18, 19.

<sup>4</sup> Duderstadt, J. et al., Principles of Engineering, Nueva York, Wiley, 1982, pp. 63-110.

<sup>5</sup> Wickelgren, op. cit., pp. 10-14.

<sup>6</sup> Duderstadt, op. cit., pp. 93-102.

<sup>7</sup> Harrisberger, L., Engineersmanship.. the Doing of Engineering Desing, Monterey, Books/Cole, 1982, p. 44.

Las **operaciones** son las posibilidades de transformar los datos. Existen siempre restricciones respecto a qué operaciones se pueden hacer, cómo y cuándo hacerlas. En el ejemplo mencionado del problema de ajedrez, las **operaciones** son los posibles movimientos de las piezas. Estos movimientos están restringidos; sólo pueden hacerse de determinada manera con cada pieza y únicamente se puede mover una pieza por turno.<sup>8</sup> En el problema de fabricación de un objeto, las **operaciones** son los procesos de fabricación, y las restricciones se tendrán en función de los materiales usados y la forma y resistencia deseadas.

Debido a la concepción del marco de referencia, se pueden suponer restricciones que no existen realmente y que establecen obstáculos para la solución del problema; estas restricciones que se originan en las concepciones culturales o ideológicas del investigador o en la búsqueda de una solución similar a las obtenidas para problemas ya resueltos, pueden impedir que se llegue a la solución más adecuada hasta que nuevos descubrimientos obliguen al investigador a encontrar un nuevo camino y a cambiar sus concepciones. Otro tipo de restricción es el de los criterios de solución, económicos, técnicos y sociales. Puede ser que se busque la solución más económica, la más rápida, la que requiere unos insumos en lugar de otros, la que ofrezca determinados beneficios sociales, o la que tenga alguna característica deseada. Estos criterios orientan la investigación y permiten determinar cuál de entre las soluciones posibles es mejor.

Los **objetivos** o metas definen el estado final del proceso al que se desea llegar; pueden describirse de manera más o menos completa. Retomando el ejemplo del problema de ajedrez, el objetivo puede ser dar jaque mate al otro jugador en el menor número de jugadas posible, aunque no se defina cuál debe ser la posición final de las piezas en el tablero. En fabricación, el objetivo puede ser encontrar la tecnología más adecuada para obtener un producto competitivo, y puede haber más de una solución correcta a un mismo problema.<sup>9</sup> La selección de la solución se hará a partir de diversos criterios, tales como necesidades que hay que satisfacer, costos, sustitución de insumos, volumen de producción, efectos secundarios nocivos, estética, ideología, etcétera .

## Plan de Solución

Una vez definido el problema, es necesario **concebir** y **ejecutar un plan** que conduzca a su solución. En la práctica, es difícil separar la **concepción** y la **ejecución** de un plan, ya que ambos aspectos están estrechamente ligados; por lo general, a medida que se avanza en la **ejecución** del plan, se abren nuevos caminos o surgen dificultades que obligan a modificar la concepción inicial.

La **concepción** es producto de una actividad creativa, a través de la cual se combinan y organizan los conocimientos adquiridos para concebir un plan que sea plausible, recurriendo a tanteos y ensayos. Esta concepción define, aunque sea de manera general, la secuencia de operaciones y los experimentos, físicos o mentales, que deben efectuarse para encontrar la solución.

Dentro de la concepción, el investigador debe buscar las técnicas más adecuadas de trabajo, diseñar los experimentos pertinentes y, cuando sea necesario, idear y construir los aparatos de experimentación requeridos.<sup>10</sup>

Y, aunque es difícil concebir un plan si no se tienen amplios conocimientos acerca del universo del problema,<sup>11</sup> éste puede concebirse gradualmente a medida que se avanza en su ejecución o puede surgir de repente como una “idea brillante” después de ensayos aparentemente infructuosos y un periodo de duda .<sup>12</sup>

---

<sup>8</sup>Wickelgren, op. cit., pp. 11-13.

<sup>9</sup>Ibid., pp. 13-14.

<sup>10</sup>Gortari, E., Lógica general, México, Grijalbo, 1979, páginas 228-232.

<sup>11</sup>Ibid., p. 229.

<sup>12</sup>Polya, op. cit., p. 30.

Las **técnicas** de solución concretas aplicables para resolver un problema varían según el tipo de problema de que se trate y según la experiencia y conocimientos del investigador.<sup>13</sup> Sin embargo, es posible señalar algunos pasos y procedimientos generales <sup>14, 15, 16</sup> Y <sup>17</sup> que pueden combinarse para ayudar a generar una solución. Estos son:

- a) **Dominar el campo**, adquirir la información posible para plantear adecuadamente el problema, manteniendo una actitud inquisitiva y dudando de la información cuando se tengan motivos para cuestionarla. Es importante que no se forme ningún juicio hasta conocer toda la información.
- b) **Simplificar el problema**, eliminar toda la información redundante, resumir los datos e introducir suposiciones simplificadoras, recurriendo a la abstracción y usando modelos. En ocasiones, se puede modificar o cambiar la formulación del problema; por ejemplo, al no tener una teoría que permita resolver una ecuación completa, se puede eliminar un término no lineal y luego introducir un factor de corrección, como en el caso de muchos problemas de mecánica de fluidos.
- c) **Descomponer y recomponer el problema** original en un conjunto de subproblemas, que pueden ser analizados por separado. Así, el investigador puede dedicar su atención a unos cuantos detalles a la vez, ya que de otra manera correría el riesgo de no prestar la suficiente atención a aspectos esenciales. Por otra parte, al analizar los subproblemas, es posible encontrar que algunos de ellos ya han sido resueltos.
- d) **Establecer analogías**, buscar problemas análogos más sencillos o problemas homólogos en otros campos y aplicar su método o su resultado o ambos para encontrar la solución buscada. Por ejemplo, es posible prever algunas características del resultado que sean más o menos plausibles si se analiza un problema de fisiología humana a partir de una analogía con la fisiología de la rana. Pero para aplicar adecuadamente una analogía, el investigador debe, primero, familiarizarse con los conceptos básicos subyacentes en el problema para definir los límites de la analogía y no forzarla a conclusiones erróneas.
- e) **Generalizar el problema**, pasar del análisis de un objeto o conjunto de objetos al análisis de un conjunto más amplio en el que esté comprendido el objeto o conjunto inicial. La generalización implica una abstracción tal, que el problema general es más fácil de resolver que el particular. Así se pueden substituir valores numéricos por literales o utilizar solamente las propiedades esenciales del conjunto; por ejemplo, si se desea calcular el efecto que produce una acción sobre un cuerpo dado, se puede expresar el problema en función de características generales como masa, fuerza y módulo de elasticidad.
- f) **Particularizar el problema**, pasar de la consideración de un conjunto de objetos dado a la consideración de un conjunto más pequeño o de un solo objeto, contenido en el conjunto dado. La particularización se puede usar para refutar una hipótesis (si no se verifica en un caso particular), para demostrarla (si se verifica en un número significativo de casos particulares) o para establecer los límites dentro de los cuales la hipótesis es válida.
- g) **Explorar direcciones plausibles**, atacar el problema desde diferentes ángulos a la vez, tomando en cuenta todas las ideas que pueden conducir a la solución. En la fabricación de un producto, se deben considerar diferentes materiales y procesos de fabricación, formas o maneras distintas de satisfacer una necesidad planteada.
- h) **Trabajar en retrospectiva**, determinar los estados intermedios por los que se necesita pasar para llegar a los objetivos y analizar la factibilidad de alcanzarlos. Para aplicar un proceso de fabricación, es necesario contar con un producto que tenga ciertas características mecánicas; para aplicar un método de cálculo, se debe contar con una computadora que tenga cierta capacidad.

---

<sup>13</sup>Ibid., pp. 57-197.

<sup>14</sup>Gortari, op. cit., p. 229.

<sup>15</sup>Rubinstein, M. F., Patterns of Problem Solving, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1975, pp. 19-31.

<sup>16</sup>Bunge, M., La investigación científica, Barcelona, Ariel, 1972, pp. 224-229.

<sup>17</sup>Polya, op. cit., p. 19.

- i) **Discutir el problema** con otras personas y escuchar sus opiniones para generar nuevas ideas, observar detalles que se habían pasado por alto, establecer analogías o considerar nuevos enfoques.

El investigador organiza y lleva a cabo cada uno de los pasos esbozados en el plan de solución; asume una posición crítica y verifica la exactitud y el fundamento de cada uno de ellos, aceptando sólo aquello que pueda ser demostrado de manera decisiva y rigurosa. A medida que se avanza en la realización del plan, puede surgir la necesidad de modificarlo: simplificarlo, introducir nuevas comprobaciones, introducir problemas secundarios o cambiar la perspectiva general en un proceso iterativo. Finalmente, debe examinarse el conjunto de los pasos efectuados para verificar su concatenación.<sup>18, 19</sup>

### Control de la Solución

Es necesario confirmar que la solución obtenida sea correcta, verificando tanto los resultados obtenidos como el método utilizado. Es indispensable analizar rigurosamente cada paso y verificar la plausibilidad de cada una de las suposiciones y de cada una de las aproximaciones usadas para simplificar el problema. Los resultados deben tener consistencia dimensional y coincidir, dentro de límites razonables, con aproximaciones globales y resultados experimentales. Así, un elemento estructural puede compararse con elementos de estructuras semejantes; el consumo energético de un nuevo calentador se puede comparar con el consumo específico de los calentadores existentes, o la distribución de presiones originada por un fluido sobre una pared se puede comparar con una distribución general prevista. Cuando sea posible, deben compararse con soluciones obtenidas siguiendo técnicas diferentes.

Para determinar cuál es la más adecuada, deben analizarse todas las soluciones posibles de acuerdo con los criterios considerados. En ocasiones, será necesario hacer interacciones entre los **datos**, las **operaciones** y los **objetivos** para optimizar la solución.<sup>20</sup> Por último, se estima la precisión alcanzada y se señalan lineamientos para mejorar la solución.<sup>21</sup>

### Comunicación de Resultados

Todo problema surge como respuesta a una necesidad y su solución se comprueba en la práctica a través de su aplicación. Para ello, el investigador debe comunicar sus resultados de una manera lógica y organizada, de tal manera que puedan ser aplicados.

Por lo general la estructura del reporte no coincide con la del proceso seguido para obtener la solución y varía de acuerdo con la naturaleza del problema, el método de solución y la gente a quien se dirige.

El reporte debe incluir el planteamiento del problema en su forma original, los principios relevantes considerados, las suposiciones simplificadoras, las aproximaciones, un modelo del problema simplificado, la secuencia detallada de los pasos relevantes seguidos para obtener la solución, la verificación del método y de las suposiciones de solución, y una discusión de las implicaciones del resultado.<sup>22</sup>

Harrisberger sugiere los siguientes pasos para escribir un reporte:

- a) Resumir el entorno del problema para mostrar por qué el trabajo es importante, valioso y necesario.
- b) Escribir lo que se hizo sin abundar en detalles innecesarios. Bosquejar en el cuerpo del reporte solamente los aspectos relevantes para la solución. Los cálculos efectuados y el material de referencia se pueden incluir en el apéndice.

---

<sup>18</sup>Gortari, op. cit., p. 233.

<sup>19</sup>Duderstadt, op. cit., pp. 108-110.

<sup>20</sup>Bunge, op. cit., pp. 224-229.

<sup>21</sup>Duderstadt, op. cit., pp. 82-87.

<sup>22</sup>Harrisberger, op. cit., pp. 136-137.

- c) Formular esquemas y diagramas para describir los aspectos físicos del problema, así como gráficas y diagramas para resumir los resultados de los cálculos. Presentar ilustraciones para ahorrar palabras siempre que sea posible.
- d) Documentar los datos, los hechos y la información técnica, mediante referencias a fuentes y autoridades, de manera que el trabajo pueda ser comprobado y verificado.
- e) Incluir exclusivamente información pertinente para el problema considerado.
- f) Precisar el reporte, reduciendo su extensión y eliminando todos aquellos conceptos alambicados que puedan ser substituidos por términos más sencillos.

En resumen, el primer paso para resolver un problema es su planteamiento, para lo cual el investigador debe tener cuidado de definir adecuadamente el problema, obtener y utilizar toda la información disponible, y no incluir limitaciones subjetivas que sólo existen en función de una asociación de ideas o de una concepción ideológica o cultural. El segundo paso es elaborar un **plan** para la solución usando la combinación de las técnicas más adecuadas, etapa en la que se conciben y organizan las **operaciones** y los experimentos necesarios, considerando todas las ideas plausibles. En tercer lugar el plan se **ejecuta** con una actitud crítica, verificando el rigor de cada uno de los pasos seguidos, y, a medida que se avanza, el **plan** se modifica de acuerdo con los resultados obtenidos. Posteriormente, el método de solución y los resultados se comprueban para demostrar que la solución obtenida es correcta y que se ha seleccionado y optimizado como la más adecuada de entre las posibles, evaluando su exactitud y planteando lineamientos para mejorarla. Finalmente se exponen los resultados en una forma lógica y ordenada, de modo que puedan ser utilizados.