

---

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA  
Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA**



**TESIS DOCTORAL**

***Contraste en la ejecución de  
auscultaciones geodésicas por  
métodos clásicos y con láser escáner.***

**Autor:**

**JULIO MANUEL DE LUIS RUIZ**

**Director:**

**BENJAMÍN PIÑA PATÓN**

**Santander, Diciembre de 2009**

---

**CAPÍTULO I**  
**PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.**



## **1.- MARCO REFERENCIAL DE LA TESIS DOCTORAL.**

### **1.1.- ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN.**

La presente tesis doctoral se encuadra en el programa de doctorado denominado Ingeniería Geográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería, que el Departamento de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica imparte en el marco general de la Universidad de Cantabria. La tesis se centra en el Área de Conocimiento “Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría”, área a la que pertenece el autor de este trabajo desde el año 1991 en régimen de dedicación a tiempo completo.

Dentro de las diversas líneas de investigación abiertas en dicho grupo, las cuales han generado un notable número de tesis doctorales, el autor viene trabajando desde hace tiempo en el ámbito de las auscultaciones geodésicas planimétricas y altimétricas. Estas auscultaciones permiten, en base a un estudio geométrico del elemento a auscultar, determinar su estado tensional, permitiendo estas técnicas ser aplicadas a un amplio abanico de actuaciones en el ámbito de la ingeniería. Así, el autor ha participado en trabajos de diversa índole como: taludes inestables (Correpoco-Cantabria), edificios (Avenida del Estadio-Santander), muros, escolleras y escombreras (Las Rozas-Cantabria), túneles (Cavedes-Cantabria), pruebas de carga (Accesos a la Meseta), estudio de subsidencia minera (Mieres-Asturias), pero sin duda alguna es en las presas donde el término auscultación abarca su más amplio contexto, debido a la vital importancia de la precisión y al mecanismo de comprobación que otorga el péndulo que toda presa debe tener. En esta línea, el autor ha participado activamente en la auscultación de la Presa del Besaya a su paso por Los Corrales de Buelna, en la Presa del río Torina en Alsa y en la Presa de la Cohilla en el río Nansa, lo que ha permitido obtener una experiencia fundamental para el buen desarrollo del presente tesis doctoral.

Además de la experiencia profesional reseñada, el autor de la presente tesis ha desarrollado diferentes auscultaciones para dos de sus proyectos finales de carrera “Auscultación geodésica de la Presa del Besaya, Torrelavega-Cantabria” y “Auscultaciones geodésicas, aplicación a la Presa de la Cohilla, Cantabria”, que en su día fueron presentados en la Universidad del País Vasco para la obtención del título de Ingeniero Técnico en Topografía (Julio 2002) y en la Universidad de Alcalá de Henares para la obtención del título de Ingeniero en Geodesia y Cartografía (Octubre 2005).

La tesis se centra en la Presa de la Cohilla, la cual empieza a auscultarse en el año 1950, asumiendo esta labor a partir de 1985 el grupo de investigación de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría a través de un convenio de colaboración entre la Universidad de Cantabria y la empresa explotadora Saltos del Nansa, S.A. En concreto, el autor de la presente tesis ha sido el responsable de su observación y supervisión de los cálculos para la adecuada resolución de dichas auscultaciones desde el año 1994 hasta la actualidad.

La Presa de la Cohilla se ha constituido como el “laboratorio” a escala real que todo grupo de investigación desea tener para poder realizar sus diferentes ensayos, complementado por el buen hacer de los responsables de la empresa, que siempre han puesto a disposición del grupo todo tipo de facilidades para poder poner en marcha cualquiera de las iniciativas que en el presente documento se exponen y que han permitido el desarrollo de la propia tesis doctoral.

El marco referencial de la tesis y el ámbito de la investigación no estarían completos sin nombrar al catedrático de universidad D. Rafael Ferrer Torío, auténtico gestor del grupo de investigación, impulsor del área de conocimiento y promotor de la idea del presente trabajo.

## 1.2.- EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE SALTOS DEL NANSA.

La Compañía “Saltos del Nansa, S.A.” fue constituida en Madrid, el 11 de noviembre de 1941, por plazo ilimitado, e inscrita en el registro Mercantil de Madrid en la Hoja 8.135, Folio 50, Tomo 322 de Sociedades. El objeto social especificado en el artículo 2º de los Estatutos dice: *“la construcción y explotación de saltos de agua o de cualesquiera otras instalaciones productoras de energía eléctrica, así como la adquisición, distribución y venta de la misma”*.

La sociedad fue constituida partiendo de la concesión otorgada a D. Alberto Corral en 1926 para derivar 2.330 litros por segundo del río Nansa, y ampliada en 1939 para el aprovechamiento del Vado de la Reina y de otros varios de las cabeceras de los ríos Vendul y Lamazón, que importaban 1.470 litros por segundo, para un salto único de 500 metros de altura. La empresa desde su fundación hasta 1951 cumplió su fin primordial, que fue la construcción del aprovechamiento hidroeléctrico del río Nansa, en la zona oeste de la Comunidad de Cantabria, que consiste en un embalse de cabecera de 11,8 hm<sup>3</sup> de capacidad (Presa de la Cohilla) y cuatro saltos de agua posteriores a lo largo del río.

En el Anejo Número 1 de la presente tesis doctoral, *“El aprovechamiento hidroeléctrico de Saltos del Nansa y antecedentes históricos de la Presa de la Cohilla”*, se analizan pormenorizadamente aspectos tales como la empresa, el río Nansa, el aprovechamiento hidroeléctrico, la construcción de la presa, la evolución de las centrales que componen el aprovechamiento hidroeléctrico, etc.

## 1.3.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA PRESA DE LA COHILLA.

La construcción de la Presa de la Cohilla contribuyó a paliar el grave déficit de energía eléctrica que existía en la España de mitad del siglo XX, restricciones que impulsaron con fuerza las obras hidráulicas. Pero si se analiza con una perspectiva suficiente, hay que remitirse a la política de obras públicas de los años veinte, con la que se sentaron las bases de un sistema hidráulico completo y complejo, que buscó coordinar la producción de energía eléctrica, las obras de riego y otros aprovechamientos posibles en cada cuenca, y hacerlo a través de entidades públicas, las Confederaciones. El mismo año que un Real Decreto-Ley creó las *Confederaciones Sindicales Hidrográficas*, 1926, le fue otorgada al Sr. Corral la concesión para derivar agua del río Nansa, hecho que supondría el origen de la Presa de la Cohilla. En el Anejo Número 1 de la presente tesis se recogen datos sobre los antecedentes históricos, el proyecto original, la construcción de la presa y sus modificaciones posteriores.

## 2.- LA INVESTIGACIÓN EN LOS PROCESOS DE AUSCULTACIÓN.

### 2.1.- INTRODUCCIÓN GENERAL.

#### 2.1.1.- DEFINICIÓN Y TIPOS DE INVESTIGACIÓN.

En un sentido amplio, investigar significa efectuar diligencias para esclarecer algo desconocido, constituyendo la investigación el proceso empleado durante el esclarecimiento de lo desconocido. En esencia, la investigación busca el conocimiento de la verdad. Esta amplia definición se concreta al referirse al mundo científico o tecnológico de varias formas:

- La investigación es un proceso creador mediante el cual la inteligencia humana busca nuevos valores. Su fin es enriquecer los distintos conocimientos del hombre, provocando acontecimientos que le hablan del porqué de las cosas, penetrando en el fondo de ellas con mentalidad exploradora de nuevos conocimientos.
- La investigación es un proceso que implica un estado del espíritu voluntariamente adoptado, por el que mediante un esfuerzo metódico se trata de llegar a conocer algo que hasta ahora es desconocido.

Según la finalidad perseguida por la investigación se puede considerar tres tipos diferentes: Fundamental, Aplicada y de Desarrollo. Los conceptos de cada una han sido motivo de diversas definiciones.

- *La Investigación Científica*, también llamada *Básica*, es la que tiene como objetivo esencial contribuir al esclarecimiento de todos los campos de la ciencia sin otras implicaciones inmediatas. Lo cual no excluye que esta búsqueda desemboque en importantísimas aplicaciones, lo que sucede con frecuencia.
- *La Investigación Aplicada*, a veces llamada *Investigación Tecnológica*, tiende a la resolución de problemas o al desarrollo de ideas, dirigidas a conseguir innovaciones, mejoras de procesos o productos, incrementos de calidad y productividad, etc.
- *El desarrollo o la Innovación Tecnológica*. Puede decirse que permite la puesta en práctica, mediante los diseños adecuados, generalmente obtenidos en la Investigación Aplicada, ya sea en la mejora de procesos convencionales o en nuevos procesos. En general, tiene lugar preferente en el seno de las industrias u organizaciones de cualquier tipo.

De otra parte, conviene diferenciar entre *Investigación Científica Libre y Dirigida*. La primera consiste en investigar por avanzar las fronteras del conocimiento, mientras que la segunda viene motivada por intereses de grupos o comerciales, desarrollándose para resolver problemas planteados en el curso de la Investigación Aplicada. En general, la Investigación Científica Libre suele efectuarse en las universidades o en centros u organismos de investigación públicos, mientras que la investigación Científica Dirigida se desarrolla en las grandes empresas, en la universidad o en centros privados de investigación, por lo general en régimen de contrato y confidencial. La Investigación Aplicada puede efectuarse en las empresas, universidad o en centros privados de investigación. La Innovación Tecnológica es más propia de las empresas.

Actualmente una gran parte de la Investigación Científica se dirige hacia las nuevas áreas del conocimiento: la informática, la microelectrónica, la biología molecular, la astronáutica; es decir, ciencias que pueden abrir nuevas perspectivas al conocimiento y al bienestar de la humanidad. Los

avances científicos logrados en éstas, también son aprovechados por otras ciencias y tecnologías, tanto para ampliar sus conocimientos como para mejorar éstas, haciéndolas más eficaces.

### **2.1.2.- LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.**

Dada la importancia que en la actualidad tienen la Investigación Científica y Aplicada en el desarrollo de las nuevas tecnologías, parece indicado profundizar algo más en las diferentes modalidades que se pueden presentar en la investigación científica. Para ello, se analiza a continuación la clasificación hecha por [ARTI-01] en su obra "*Filosofía de la ciencia*", el cual clasificó los conocimientos puramente teóricos o experimentales de cualquier tipo dentro de los siguientes grupos.

#### **2.1.2.1.- OBTENCIÓN DE CONOCIMIENTOS PARTICULARES.**

Son los conocimientos adquiridos sobre aspectos muy específicos, cuyos resultados constituyen las bases empíricas para la comprobación y formulación de leyes, modelos y teorías. Son de gran importancia en el avance del conocimiento. Constituyen el mayor porcentaje de los trabajos de investigación y presentan un carácter acumulativo, de tal manera que, en la mayoría de los casos, los avances del conocimiento se producen basándose en el conocimiento previo y no como consecuencia de una intuición más o menos genial. Generalmente están basados en la experimentación o en la observación de los fenómenos de la naturaleza.

#### **2.1.2.2.- FORMULACIÓN DE LEYES EXPERIMENTALES.**

Las leyes son la representación, muchas veces de tipo matemático, de la relación existente entre las variables o magnitudes de la experimentación. Una ley experimental no es una traducción exacta de lo que ocurre en la naturaleza, y cuando se expresa matemáticamente sería más propio hablar de ecuaciones que de leyes. El conjunto de ellas, dentro de una misma disciplina, puede dar lugar a una teoría; otras veces, las leyes se deducen de las teorías formuladas, pero deben ser validadas experimentalmente. Las leyes tienen validez por sí mismas, independientes de la certeza o no de la teoría que las agrupa.

#### **2.1.2.3.- CONSTRUCCIÓN DE MODELOS EXPERIMENTALES.**

Cuando los fenómenos a estudiar son demasiado complejos, se recurre a modelos experimentales simplificados en donde se supone que se encuentran los aspectos más importantes del mismo, para después, en estudios posteriores, buscar el ajuste del modelo estudiado. En otros casos, cuando la complejidad del sustrato sobre el que se investiga es muy grande o poco estructurada, y ello puede dar lugar a falsear determinadas propiedades que se desean analizar, se sustituye el sustrato por otro más simple que no pueda enmascarar las propiedades iniciales.

#### **2.1.2.4.- PROPUESTAS DE TEORÍAS-MARCO.**

Como su nombre indica, son interpretaciones generales aplicables a muchos fenómenos. Se originan cuando existe un conjunto de leyes que actúan como soporte de la teoría y demuestran la validez de ésta. No son sistemas deductivos y consisten en ideas y explicaciones generales que se van modificando y ampliando con ayuda de teorías específicas. Por lo general, las teorías requieren de mucho tiempo y un gran esfuerzo de sistematización para su exposición y validez. La formulación de una teoría en sus inicios no es completa y se modifica y amplía en el transcurso del tiempo. Las teorías pueden ser válidas mediante experimentación, denominándose teorías fenomenológicas.

#### 2.1.2.5.- CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS TEÓRICOS.

Son sistemas que proporcionan una explicación unitaria de amplios campos del conocimiento y constituyen una novedad importante sobre los conocimientos previos que se tenían. Estos sistemas proporcionan unidad científica y cuando se logran, la disciplina científica puede considerarse que ha alcanzado un buen grado de consistencia y madurez.

#### 2.1.3.- LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA.

La investigación tecnológica, también denominada Investigación Aplicada, tiene por finalidad la invención de instrumental o de procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado y obtener un beneficio económico, siendo esencialmente experimental y pudiendo quedar englobada en el apartado de “*Obtención de conocimientos particulares*”, en cualquiera de las tres siguientes modalidades:

- Obtención de nuevos productos.
- Configuración de nuevos procesos.
- Obtención de nuevo instrumental.

Salvo excepciones, la investigación tecnológica suele efectuarse en la empresa, requiriendo en algunos casos el concurso de la universidad, centros estatales o privados para llevar a buen término algunos aspectos de su investigación que, por sus características, no se pueden desarrollar en la empresa, bien por falta de personal especializado o de los equipos necesarios. En algunos casos, la magnitud del proyecto es de tal envergadura que se requiere el concurso de varias empresas para su ejecución, aportando cada una aquellos elementos del conjunto que por su especialización pueden resultar de superior eficacia y rentabilidad.

En las nuevas tecnologías, la investigación tecnológica o aplicada suele apoyarse en la investigación básica, y en muchos casos requiere de la aportación de varias ramas especializadas de ésta o de varias tecnologías, para poder llevarse a término. La investigación aplicada comporta menos riesgos de error que la investigación básica, requiriendo por lo general mayores inversiones para su realización e interviniendo el coste como factor importante en la decisión de llevarla adelante. El factor tiempo en alcanzar sus objetivos es importante, ya que la prioridad en la presentación en el mercado de sus productos suele ser determinante del éxito o fracaso. Asimismo, la investigación tecnológica necesita de un conocimiento de las necesidades actuales o futuras del mercado, a fin de que sus productos o procesos sean aceptados por éste. El método empleado en la investigación tecnológica difiere poco del empleado en los otros tipos de investigación, si bien al ser distinta su finalidad, tanto el equipo empleado como la organización suelen ser diferentes.

#### 2.1.4.- LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.

El desarrollo tiene como fin la obtención de nuevos productos, instrumental o procesos para su utilización por la sociedad. Cuando uno de estos objetivos es presentado y aceptado por el mercado, alcanzando una plena realización práctica, industrial y comercial, se dice que se ha producido una innovación tecnológica, que puede ser total cuando el producto o procesos es la primera vez que aparecen en el mercado, o imitativa cuando estando ya el producto o proceso en el mercado, no se encuentran en la oferta de determinada empresa. Siendo la propia empresa la que los realiza y presenta en el mercado, siendo aceptados por éste, si el producto o proceso no son aceptados por el mercado, se habrá producido una “*invención*” pero no una innovación.

La empresa puede abordar la innovación de varias formas:

- Mediante la investigación tecnológica, es la forma más eficaz de crear innovación, ya que le permite actuar libre de condicionantes impuestos por otros caminos.
- Mediante la adquisición del conocimiento de otras empresas o instituciones, es una forma rápida de poseerla, requiriendo siempre una adaptación ya que las condiciones del mercado en donde la empresa intenta introducirla pueden ser diferentes de aquél de la empresa vendedora.
- Mediante una información eficaz de los conocimientos técnicos y desarrollos tecnológicos que se realizan en su área, disponer de un buen servicio de documentación es una condición necesaria para adquirir nuevas ideas que se pueden desarrollar en las empresas.

Para que una innovación pueda convertirse en realidad, debe cumplir con la siguiente serie de requisitos fundamentales:

- Satisfacer una necesidad manifestada o latente en el mercado.
- Estar resuelta tecnológicamente.
- Ser rentable desde el punto de vista económico.

La innovación tiene un ciclo de vida más o menos dilatado, dependiendo de sus características se puede resumir en: nacimiento, lanzamiento, madurez y obsolescencia. En ello, es diferente de la investigación, ya que en ésta, el conocimiento que produce permanece y puede ser mejorado, pero siempre es una fuente a la que se puede recurrir para su utilización o nuevos avances. La innovación tecnológica es en la actualidad absolutamente necesaria para la supervivencia de las empresas y el mayor o menor éxito de su gestión contribuirá de forma decisiva a su expansión o declive.

## 2.2.- LA AUSCULTACIÓN DE PRESAS.

### 2.2.1.- INTRODUCCIÓN.

El “Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses”, aprobado por Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996, expone la necesidad de contar con las Memorias de Construcción y la Memoria de la Puesta en Carga de la Presa, con los siguientes documentos debidamente aprobados:

- El Plan de Emergencia de la Presa.
- Las Normas de Seguridad y Explotación de la Presa.

Además, el titular está obligado a encargar periódicamente a un equipo técnico, especializado y distinto del equipo de explotación, una revisión y análisis general de la seguridad de la presa y del embalse.

Analizando el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, cuyos contenidos abarcan temáticas relativas al control de presas, de forma genérica, se puede apreciar que en los artículos y apartados 5.2, 5.3, 5.5, 5.8, 6, 21, 29, 30, 33.1, 33.2, se definen los procedimientos para realizar la auscultación de una presa. A continuación se detallan los dos últimos artículos, por ser los más relevantes en el ámbito de la auscultación:

- *Artículo 33.1.- Dentro de las Normas de Explotación existirá un plan coordinado de auscultación e inspecciones periódicas de la presa o el embalse orientado a la comprobación de su seguridad y estado de funcionamiento. El plan señalará el alcance y periodicidad de las inspecciones, así como la composición del equipo encargado de la toma de datos del sistema de auscultación, indicando la frecuencia de lectura de cada aparato, las especificaciones relativas a la recogida y procesado de la información y el método para su interpretación.*
- *Artículo 33.2.- El Director de Explotación redactará un informe anual en el que recogerá los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación, identificará las deficiencias observadas y propondrá las acciones de corrección oportunas. Este informe se incorporará al archivo técnico de la presa. En el caso de las presas de categoría A, este informe deberá ser enviado por el titular a la Administración, que en el ejercicio de las funciones de vigilancia e inspección realizará las observaciones y propuestas que estime pertinentes.*

### **2.2.2.- EL PROCESO DE AUSCULTACIÓN.**

Se entiende como auscultación el “conjunto de actividades destinadas a conocer el comportamiento real de una presa, durante una determinada época o a lo largo de toda su vida útil, que se llevan a cabo mediante técnicas especiales de medición, con aparatos o sensores determinados y que, con un posterior proceso de depuración y análisis de los datos obtenidos, permiten profundizar en la seguridad global de una presa”. Asimismo, se incluye en la auscultación la observación de determinados aspectos no medibles como: estado del terreno aguas abajo (vegetación, erosiones), humedades o fisuras en paramentos, color del agua filtrada, estado de conservación de los aparatos de auscultación, accesos, medios de comunicación, etc.

La auscultación de una presa y su cimiento debe tener como fin último alcanzar todos o algunos de los objetivos siguientes:

- Prevenir con suficiente antelación y, por tanto, evitar que una situación futura pueda acarrear roturas, accidentes e incidencias no deseadas.
- Controlar ciertos parámetros que tengan una influencia importante en el comportamiento y seguridad de la presa.
- Reducir las incertidumbres sobre las hipótesis simplistas realizadas, de forma que pueda aumentar la confianza sobre el comportamiento futuro.
- Economizar o, al menos, racionalizar la construcción y/o explotación partiendo de datos reales medidos “in situ”.
- Conocer, desde una información real, el comportamiento satisfactorio o no de la presa construída o en explotación.

Generalmente, se admite que la seguridad de una presa no depende sólo de un buen proyecto y correcta ejecución, sino que también es necesario considerar la vigilancia a lo largo de la vida de la misma. Una auscultación adecuada permite, además de cumplir su fin principal de conocer el estado de seguridad de la presa evitando accidentes, obtener informaciones que enriquecen el conocimiento sobre el comportamiento real de las obras y, a fin de cuentas, afinar las técnicas experimentales y los métodos de cálculo para lograr una concepción mejor y más segura de las presas futuras.

A partir de la información suministrada por los distintos sensores y adquirida bien manual o automáticamente, debe iniciarse rápidamente la fase de interpretación de datos y la consiguiente redacción de informes, llevándose a cabo en dos etapas claramente diferenciadas.

- En primer lugar se debe realizar un análisis previo de causas y efectos que permitan apreciar rápidamente, después de relacionarlos entre sí, cuáles de los parámetros controlados se desvían de los previstos, por ejemplo: desplazamientos no esperados, filtraciones importantes, subpresiones altas, etc., y que por tanto requieren un análisis más detallado.
- Posteriormente, se acomete una fase que no es tan empírica como la anterior, y que consiste en la comparación de los resultados obtenidos a partir de mediciones reales con las previsiones realizadas mediante modelos. Para su ejecución, el técnico responsable debe contar además con la siguiente información básica:
  - Resultados de los ensayos y análisis realizados para comprobar la calidad de las obras.
  - Información geológica adicional obtenida durante la ejecución de las obras.
  - Cambios introducidos en el proyecto durante la construcción.
  - Tratamientos de consolidación, impermeabilización y drenaje.
  - Normas, inicialmente previstas, de operación y mantenimiento.
  - Modelos de cálculo utilizados antes del proyecto, durante el mismo y en la época de construcción.

Con estos datos se inicia el proceso de interpretación propiamente dicho, que durante la fase de explotación consiste básicamente en el análisis de los datos teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Durante la fase de explotación se deben fijar unas condiciones límites con alarmas preliminares de los distintos parámetros que regulan el comportamiento de la presa.
- El análisis de los datos se debe realizar periódicamente.
- El criterio principal se basa en la comprobación de reversibilidad o no de las variables controladas en la presa y sus cimientos.
- Cuanto mayor sea el historial de datos de las variables consideradas, la reiteración de datos de las variables meteorológicas y de la carga hidrostática y la calidad de las mediciones, más riguroso será el análisis final y las conclusiones sobre el comportamiento de la presa.

Una vez realizado el análisis conviene reflejar toda la información obtenida en los denominados informes de auscultación, que son aquellos documentos en los cuales se plasma la historia de la presa durante el periodo de estudio, recogen la historia anterior y estiman su comportamiento futuro. Por tanto, su interés e importancia son evidentes, tal y como viene reflejado en el artículo 33 del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. Cada informe se recomienda que conste, al menos, de las siguientes partes:

- Una memoria donde se analizará en detalle todos y cada uno de los datos tomados y su evolución en el tiempo.

- Un resumen de las observaciones “in situ” y de los posibles ensayos realizados en obra durante el periodo de estudio.
- Un resumen, explicando el modelo aplicado (bien sea estadístico, determinista o híbrido) para comparar las magnitudes reales medidas con las calculadas mediante este modelo.
- Unas conclusiones de orden práctico que resuman el comportamiento de la presa durante el periodo de estudio.
- Recomendaciones y cuidados necesarios que deben tenerse, como pueden ser el programa de lecturas aplicable, las magnitudes que deben controlarse de manera especial, los incrementos máximos admitidos, alarmas, etc.
- Un anejo con los planos de situación de los equipos.
- La evolución de las magnitudes controladas, relacionadas con las variables que influyen en su evolución.

### **2.2.3.- SENSORES E INSTRUMENTOS DE AUSCULTACIÓN.**

Muchos y muy variados son los sensores que se pueden emplear en la auscultación de presas. Tanto éstos como los instrumentos de medida se suelen clasificar en grupos siguiendo varias órdenes de clasificación como pueden ser el principio físico de medida, según el tipo de control, según el sistema de registro y toma de datos, etc.

Al mismo tiempo, y especialmente en presas de cierta importancia, los sensores a instalar deben ser fácilmente automatizables para aprovechar las grandes posibilidades que ofrecen los sistemas automáticos de adquisición de datos, fundamentalmente por la rapidez en el manejo del gran volumen de información que los sensores son capaces de suministrar. Sin embargo, este requisito hay veces que es incompatible con las especificaciones técnicas que deben tener dichos sensores, lo que justifica la necesidad de tener que buscar un equilibrio entre ambas circunstancias.

Hoy en día se conoce bastante bien qué sensores son fiables y estables en el tiempo. Estos no sólo deben seleccionarse cuidadosamente, sino que deben ser instalados por personal experto, además de ser protegidos y mantenidos adecuadamente. Este conjunto de operaciones es muy importante en todo el proceso de auscultación, ya que su correcta realización lleva implícita la obtención de datos de calidad y útiles para el estudio del comportamiento de la presa y su seguridad.

En el Anejo Número 2 de la presente tesis doctoral, “*Sensores e instrumental de auscultaciones*”, se analizan pormenorizadamente las diferentes alternativas instrumentales para realizar auscultación de presas, detallándose los existentes en la presa objeto de análisis.

### **2.2.4.- LA AUSCULTACIÓN GEODÉSICA.**

#### **2.2.4.1.- ENCUADRE REFERENCIAL.**

Las auscultaciones geodésicas permiten mediante observaciones topográficas el establecimiento de la deformación de una estructura, cuando ésta es influenciada por diferentes factores como puede ser la cantidad de agua embalsada, la temperatura, etc., que afectan a su estado tensional. Las componentes planimétrica y altimétrica se observan, procesan y analizan por separado, lo que justifica que el estudio de los diferentes instrumentales y procedimientos también se realice por separado.

#### 2.2.4.2.- AUSCULTACIONES GEODÉSICAS PLANIMÉTRICAS.

El instrumental y los procedimientos para realizar auscultaciones geodésicas planimétricas en la actualidad dependen en gran medida de la disposición de los puntos en los que se pretende determinar la deformación de la presa. La disposición más sencilla de estos puntos, es aquella en la que los propios puntos se encuentran a lo largo de la coronación de la presa y además están contruidos de forma que se puede estacionar un equipo topográfico sobre ellos; en este caso, está demostrado que la observación topográfica posterior es más robusta, ya que los puntos objeto se incluyen en una serie que permiten ser observados en red y posteriormente calculados mediante ajuste de mínimos cuadrados, lo que genera precisión en la determinación de su posición. El gran inconveniente en este tipo de disposición de los puntos consiste en la poca información que aporta este tipo de auscultaciones, que se limita a dar la deformación de la presa sólo en la coronación de la presa, mientras que señalizando puntos en el propio parámetro de la presa aguas abajo, se puede obtener una información mucho más rica, pero requiere un cambio en el modelo de observación ya que en este tipo de distribución no se pueden colocar los instrumentos de medida en los puntos objeto, y por tanto, el modelo de cálculo debe ser diferente. Aún siendo más complejo de llevar a cabo, el último modelo de disposición es el más empleado.

Los modelos de observación propuestos en la vigente orden ministerial, que regula los procedimientos de auscultación de presas, proponen los siguientes métodos de observación:

- Observación angular. Establecida una red de pilares de puntos fijos, exteriores a la zona de influencia de la estructura y en los que se pueda estacionar adecuadamente un teodolito de precisión, realizar al menos tres observaciones de ángulos desde sendos pilares a cada una de las dianas de las que se quiere establecer el desplazamiento. Los pilares a priori se deben encontrar fuera del área de influencia, lo que no siempre es posible, por lo que se propone en este caso, realizar observaciones auxiliares a puntos externos de la zona de influencia con el objeto de determinar el posible desplazamiento de los pilares y poder corregir posteriormente el desplazamiento final de las dianas.
- Observación distanciométrica. Partiendo de una misma red de pilares que el caso anterior, propone observar las distancias desde, al menos, tres pilares a cada uno de los puntos de los que se pretende determinar la deformación.
- Observación conjunta de ángulos y distancias. Propone una observación conjunta de ángulos y distancias haciéndose necesario, al igual que en los casos anteriores, el estacionamiento de los equipos de medida en los pilares y desde ellos observar a las dianas objeto de estudio, con los mismos condicionantes y configuración que en los modelos de observación ya citados.
- Observación mediante sistemas de posicionamiento global. Desde que existen los modernos sistemas de posicionamiento mediante observación con satélites artificiales y equipos receptores, en la superficie terrestre se vienen desarrollando equipos y métodos de observación que pretenden llegar a conseguir las mismas precisiones que los modelos anteriores, hecho que en la actualidad no ha sido conseguido. A priori su limitación es clara, y es que en el mejor de los casos, sólo se podría analizar la coronación de la presa, aunque también es cierto que reportan la ventaja de permitir la auscultación geodésica tanto planimétrica como altimétrica.

Hasta ahora se han realizado pruebas mediante fotogrametría terrestre de objetos cercanos, que aunque han mostrado una cierta eficacia, no se ha obtenido el rango de precisiones que es necesario en este

tipo de actuaciones. Hay que añadir la complejidad de equipos y medios que requiere la fotogrametría, así como su elevado coste. Todo esto justifica que, aunque se realicen pruebas constantemente, en la actualidad estas técnicas no se están utilizando para la ejecución de auscultaciones geodésicas.

#### 2.2.4.3.- AUSCULTACIONES GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS.

En la auscultación geodésica altimétrica, totalmente desligada de la planimétrica, en la actualidad se están utilizando niveles electrónicos con los que se realizan diferentes anillos de nivelación, que pasan por el conjunto de vértices que se pretende auscultar y que generalmente están dispuestos a lo largo de la coronación de la presa. Las observaciones se suelen realizar de forma múltiple para posteriormente obtener resultados redundantes que permitan el ajuste por mínimos cuadrados en cada campaña.

Tanto las precisiones como los rendimientos que se obtienen en este tipo de auscultaciones, hacen pensar que el método y el instrumental se adaptan perfectamente a las necesidades actuales en este tipo de trabajos, por lo que buscar una mejora tanto en la precisión como en el rendimiento parece una utopía. Actualmente, se sigue investigando en los procedimientos e instrumental que se deben emplear para conseguir la automatización del proceso.

### 3.- METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL DESARROLLO DE LA TESIS.

#### 3.1.- LOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

##### 3.1.1.- INTRODUCCIÓN.

Aunque en las ciencias experimentales la experiencia ocupa un lugar relevante, también es cierto que las construcciones teóricas tienen un papel importante. Debido a este planteamiento, en la actividad científica se distinguen dos procesos: uno *ascendente* que conduce a la formación de entidades teóricas (conceptos, leyes y teorías) y otro *descendente* que consiste en la comprobación experimental de las construcciones teóricas.

Por lo general, cuando se pretende investigar en este mundo tan complejo en el que se vive, se deben realizar simplificaciones del modelo inicial denominado objeto científico, que no deja de ser un modelo simple del objeto complejo que se pretende investigar. El objeto científico no existe realmente, y, por lo tanto, hay que construirlo a través de conceptos seleccionados que permitan su estudio mediante experiencias controladas. Los conceptos seleccionados son aquéllos que definen las *propiedades relevantes* del sistema y se prescinde de los otros que se consideran irrelevantes.

##### 3.1.1.1.- EL MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO.

El método hipotético-deductivo se emplea habitualmente, tanto en la vida ordinaria como en la investigación científica, y es el camino lógico para buscar la solución a los problemas que se plantean en la vida cotidiana. Consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si éstos están de acuerdo con aquéllas. Cuando el problema está próximo al nivel de observación, sin duda alguna el caso más simple, las hipótesis se pueden clasificar como empíricas, mientras que en los casos más complejos, sistemas teóricos, las hipótesis son de tipo abstracto. Así, en los ámbitos en los que se dispone de métodos que permiten efectuar las observaciones adecuadas con los que se pueden obtener magnitudes muy precisas, las hipótesis pueden verificarse con gran seguridad. Sin embargo, las hipótesis acerca de la evolución de los seres vivos, la creación del universo, etc., en donde la relación entre la hipótesis propuesta y los datos disponibles es muy indirecta y/o la verificación es difícil, origina el que las hipótesis sean cambiantes en el tiempo, de acuerdo con los datos que se van obteniendo. En estos casos, cabe preguntarse si existen criterios que permitan juzgar la validez de las hipótesis generales.

Según [ARTI-01] existen cinco criterios para juzgar la validez de las hipótesis generales, aplicables tanto a las hipótesis próximas a la experimentación como a las de elevado nivel teórico:

- *El poder explicativo.* La capacidad de ciertas hipótesis para dar solución a ciertos problemas planteados con los datos disponibles en ese momento, puede generar la admisión de dichas hipótesis, cuya demostración empírica se formaliza posteriormente.
- *El poder predictivo.* Si de una hipótesis se deduce una determinada consecuencia, puede decirse que la hipótesis predice y explica dicha consecuencia. Este criterio es especialmente importante cuando se trata de predicciones antes desconocidas.
- *La precisión de las explicaciones y las predicciones.* Este criterio refuerza a los dos anteriores, ya que en la ciencia experimental el progreso se debe en buena parte a la exactitud de los cálculos y comprobaciones.

- *La convergencia de pruebas variadas e independientes.* Este criterio refuerza la fiabilidad de ciertas hipótesis o teorías, que sin estar justificadas empíricamente, permiten dar solución a problemas planteados con los datos disponibles en ese momento.
- *El apoyo mutuo entre las teorías.* Es una buena prueba de validez para determinadas hipótesis, en las que todas las teorías se entrelazan formando una red, en la cual las comprobaciones de algunas consecuencias experimentales refuerzan la validez de todo el conjunto.

### 3.1.1.2.- EL MÉTODO INDUCTIVO.

Se utiliza conjuntamente con el anterior en la investigación de ciencias experimentales, y consiste en basarse en enunciados singulares, tales como descripciones de los resultados de observaciones o experiencias para plantear enunciados universales, como hipótesis o teorías. De esta exposición se puede deducir que la naturaleza se comporta siempre igual cuando se dan las mismas circunstancias, con lo que se estaría admitiendo que bajo las mismas condiciones experimentales se obtienen los mismos resultados, en base a la repetibilidad de las experiencias. Pero basar en que desde unos hechos concretos se puede llegar a establecer una teoría general, sería tanto como admitir que no pueden darse hechos distintos en el campo general de dicha teoría, lo cual no parece lógico, pues llevaría a admitir un determinismo absoluto, que no es admisible actualmente. Por otra parte, la inducción equivale a la extrapolación, lo cual puede ser un recurso en el campo experimental, que no se confirma siempre. Por todo ello, mediante sólo la inducción, o sea, una colección de datos experimentales para construir leyes y teorías científicas auxiliadas por la lógica, es difícil elaborar una teoría científicamente admisible. A pesar de lo expuesto, el método inductivo tiene su importancia en el estudio de los fenómenos científicos.

### 3.1.2.- PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN.

Habiendo indicado los rasgos fundamentales de los métodos deductivo e inductivo, conviene, ya en un plano más concreto, citar cuáles son los métodos utilizados en la investigación científica y en la tecnológica. No obstante, es habitual en muchos casos utilizar diferentes métodos combinados, por lo que es difícil establecer una línea de división nítida en estos casos.

#### 3.1.2.1.- LA INVESTIGACIÓN TEÓRICA.

Se denomina así aquella investigación cuya finalidad es la concepción de las grandes teorías que son el fundamento de determinadas ciencias básicas como pueden ser las matemáticas y la física. El trabajo del investigador puede realizarse con papel y lápiz y las hipótesis planteadas se construyen sobre conceptos y “*son invenciones del intelecto humano*”. La obra de Isaac Newton constituye un claro exponente de este tipo de investigación al establecer las leyes newtonianas del movimiento y la ley de la gravitación universal. Otro ejemplo evidente de este tipo de investigación es la llevada a buen término por Albert Einstein, quien con su teoría de la relatividad transformó profundamente el pensamiento científico en cuestiones tan importantes como el espacio, el tiempo, el movimiento, la masa, la energía, etc.

En estos casos, las hipótesis planteadas en la teoría general deben recibir una confirmación experimental posteriormente para que la teoría sea aceptada. La utilización posterior de nuevas y más precisas técnicas experimentales pueden poner en duda la validez de una teoría ya aceptada, con lo cual se produce un avance del conocimiento, sin que ello invalide el método empleado, para el establecimiento de la teoría posteriormente rechazada.

### 3.1.2.2.- LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.

Aunque el método empleado en la investigación experimental posee una unidad conceptual y operativa, según el problema planteado se pueden apreciar algunas diferencias entre sus diferentes variedades. Sin pretender presentar una detallada exposición de ellas, se pueden considerar las siguientes variedades de investigación experimental:

- *Planteamiento de hipótesis, experimentación y comprobación.* Este método tiene una cierta semejanza con el empleado en la *investigación teórica*, pero se diferencia en que no tiene por objeto el plantear grandes teorías globales, sino más bien el descubrir determinados comportamientos de los fenómenos naturales para conocer sus tendencias o leyes, a fin de mejorar el conocimiento de los mismos, con el objeto de poder controlarlos. Por lo general, se apoya en conocimientos validados experimentalmente y que “*en su momento se daban como verdaderos*”, pero que a la luz de nuevos descubrimientos dentro de su área o próximos a ella, llevan a plantear nuevas hipótesis que deben ser, a su vez, validadas experimentalmente, de forma que si los resultados las confirman, el nuevo conocimiento invalida al anterior.
- *Experimentación sin hipótesis previa.* Es un método corrientemente empleado en aquellos casos en donde la investigación tiene por objeto el provocar determinados fenómenos que no se presentan usualmente en la naturaleza, y cuyo conocimiento puede ser interesante o importante en el avance de la ciencia o la tecnología. Constituye un método de investigación muy importante, tanto por su amplitud como por su utilización en el campo tecnológico.
- *Experimentación según el método prueba, error o éxito.* Este método se utiliza cuando no se tiene un conocimiento previo que permita establecer un plan concreto de trabajo para abordar el tema objeto de investigación. Se inicia al azar, experimentando, generalmente, con un número elevado de compuestos o elementos, con la esperanza de encontrar algún resultado que proporcione una pista acerca de la posible solución, o permita establecer una hipótesis inicial, que en el transcurso de la experimentación se va perfilando hasta establecerla de forma más definitiva.
- *Experimentación con modelos.* Cuando la investigación no permite la utilización de los elementos reales, bien por razones de seguridad o porque la utilización del elemento real enmascararía el valor de los resultados y no se podrían obtener conclusiones adecuadas, se utilizan modelos “artificiales” para llevar a término la experimentación. Parece obvio que en la investigación del comportamiento de los elementos de seguridad de un vehículo se empleen sofisticados maniqués, que permitan realizar las diferentes pruebas a las que se desee someter al vehículo sin ningún tipo de riesgo personal.

### 3.1.2.3.- LA INVESTIGACIÓN COMBINATORIA.

Este método de investigación, aunque en una de sus etapas es esencialmente experimental, posee otras etapas que configuran el método y que se escapan de su encuadre en dicha clasificación. Persiguen la combinación de diferentes hipótesis que adecuadamente combinadas permiten la justificación de una hipótesis global más importante. Básicamente consta de tres etapas: la primera requiere una síntesis de la cuestión a investigar, otra segunda de la elaboración de pruebas o ensayos que permitan obtener datos y una tercera que mediante validaciones y test consigan obtener la mejor respuesta al objeto de la investigación.

### 3.1.2.4.- LA INVESTIGACIÓN POR OBSERVACIÓN DE LA NATURALEZA.

- *La observación de la naturaleza.* El ser humano aprovecha la capacidad que posee de observar las cosas que se presentan en la naturaleza para descubrir sus formas externas e internas, sus características, manera de actuar, etc., en una palabra, para conocerlas en mayor o menor grado, de acuerdo con la capacidad de cada observador y el interés que en él despierta la cosa observada. Esta capacidad e interés, unidos a determinada metodología en la observación, constituyen un método empleado en la investigación científica y tecnológica. La investigación por observación permite avanzar en el conocimiento de todo lo que rodea al ser humano, desde lo más pequeño, la célula, hasta lo más distante del universo. Este tipo de investigación puede efectuarse por observación directa con o sin ayuda de equipos. En otros casos, la observación requiere de la ayuda de dispositivos más complejos que permitan apreciar al observador lo que a simple vista no puede ser descubierto. Otro tipo de observaciones requiere un colectivo de datos muy numeroso para que el conocimiento que se adquiera tenga una validez probabilística, mediante el uso de la estadística.
- *Simulación por ordenador.* La simulación por ordenador permite conocer con exactitud las realidades “no experimentales”, o no “observables” en la naturaleza, tal como sucede en astrofísica, geofísica-tectónica, estructura de materiales a elevadísimas temperaturas y presiones. Es por ello que cada vez más estas técnicas están siendo empleadas en investigaciones avanzadas en diversos campos del conocimiento.

### 3.1.2.5.- LA INVESTIGACIÓN SOCIOLÓGICA.

Este tipo de investigación abarca el estudio del comportamiento sociológico, la ciencia política, etc. Su amplitud es considerable y la metodología empleada puede variar sensiblemente entre sus diferentes ramas. La investigación sociológica permite mejorar el conocimiento de las actitudes y reacciones del ser humano ante determinados acontecimientos científicos o tecnológicos que se producen en su entorno social.

El método científico que se emplea en sociología es empírico y como características más sobresalientes se pueden citar: primero que tiene una base empírica y ello lo acerca al método empleado en las ciencias naturales; y segundo que se trata de un método basado en la inducción, si bien también utiliza la deducción, por lo que se rige por los principios de la lógica. Por metodología sociológica se entiende la descripción, explicación y justificación de los métodos utilizados, mientras que las técnicas de investigación se refieren a los procedimientos específicos que utiliza el sociólogo para reunir y ordenar los datos antes de someterlos a las operaciones lógicas o estadísticas.

El diseño de la investigación está en función de los objetivos que se desean, existiendo varios tipos de diseño según el estudio. Así, existen:

- *Estudios exploratorios.* Sirven para averiguar si existe o no un fenómeno, como primer paso a una investigación.
- *Estudios descriptivos.* Permiten examinar un fenómeno para describirlo más completamente o para diferenciarlo de otro.
- *Estudios predictivos.* Sirven para identificar las relaciones que permiten especular acerca de una cosa sabiendo algo de otra.

- *Estudios explicativos.* Procuran encontrar la relación causa-efecto entre dos o más fenómenos.
- *Estudios de acción.* Se orientan a solucionar un problema de tipo social, político, de mercado, etc.

Las técnicas más empleadas para la recogida de datos son: la encuesta, la entrevista, el análisis de los contenidos, etc. Cada una de ellas tiene una fuente diferente para la recogida de los datos. Una vez obtenidos éstos, se efectúa un tratamiento informático, se analizan e interpretan.

## 3.2.- MÉTODO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.

### 3.2.1.- INTRODUCCIÓN.

En investigación científica o tecnológica hay varias formas de atacar un problema, pero no todas son igualmente efectivas, siendo necesaria la utilización de un método que permita obtener resultados eficientes en todos los casos. Ello no significa que con su aplicación se pueda resolver de forma satisfactoria el problema propuesto, pero, al menos, el investigador estará seguro de no haber dejado de lado fases importantes del proceso investigador o haber efectuado experiencias innecesarias. Mediante el método, generalmente aplicado por la mayoría de los investigadores, e independiente del resultado positivo o negativo, se pretende llevar a término la investigación de manera eficiente con un mínimo de esfuerzo, tiempo y gasto.

Cuando se pregunta ¿qué método hay que emplear?, la respuesta de los investigadores experimentados suele ser “*utilice el método científico*”. El método científico intenta la validación de un modelo mediante tres pasos básicos:

- Postulado de un modelo basado en las observaciones o mediciones experimentales existentes.
- Verificación de las predicciones de este modelo con respecto a observaciones anteriores.
- Ajuste o sustitución del modelo, conforme lo requieran las nuevas observaciones o mediciones.

El tercer paso conduce de nuevo al primero, por lo que el proceso entra en una dinámica iterativa que se puede extender tanto como se desee investigar. Las principales etapas que el investigador debe llevar a buen término para que la investigación tenga un método científico sólido son las siguientes:

- *Planteamiento del objetivo.*
- *Reunión de los datos conocidos.*
- *Organización de los datos.*
- *Propuesta de una posible solución.*
- *Prueba de la solución.*
- *Presentación de los resultados.*

De estas etapas, todas ellas importantes, es conveniente resaltar la relevancia de la primera, hasta el punto que se indica que lo más importante para encontrar la solución a un problema es plantearlo adecuadamente.

Una de las ventajas de aplicar el método científico es que mediante su repetición en diferentes investigaciones se crea el hábito de emplearlo de forma casi automática, no únicamente en el campo de la investigación, sino en todos los tipos de problemas o aspectos del trabajo. En un mundo donde la dinámica del cambio hace afrontar nuevos problemas casi cotidianamente, el tener un método para resolverlos aporta seguridad en la forma de actuar y una mayor eficiencia para encontrar la solución.

### **3.2.2.- PLANTEAMIENTO DEL OBJETIVO.**

#### **3.2.2.1.- CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LA MOTIVACIÓN.**

El objetivo de una investigación puede tener diferentes motivaciones, dependiendo de la naturaleza y situación del investigador y del centro en donde se efectúa la investigación. Así, en la universidad la motivación debe abarcar dos aspectos: la formación de los doctorandos y el avance del conocimiento científico o tecnológico. El primero es insustancial con la universidad, bien sea con fines de proveerse de sus futuros cuadros docente-investigadores, o para la formación de aquéllos que posteriormente se integrarán en la industria. El segundo aspecto, no exclusivo de la universidad, sí ha sido y es uno de sus objetivos fundamentales en todos los campos del saber.

En los centros de investigación públicos o privados, la motivación se centra, por lo general, en el avance del conocimiento científico o tecnológico en determinadas áreas, pues aunque también la formación entra dentro de sus actividades, ésta no tiene un carácter tan prioritario como en la universidad. Los centros de investigaciones públicos orientan sus investigaciones de acuerdo con las directrices emanadas de un centro coordinador, según determinadas necesidades de tipo general que se presentan a nivel supraestatal, estatal o regional. En España, la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) actúa como centro coordinador, presentando unas líneas prioritarias de investigación a las que pueden presentar sus proyectos los centros de investigación públicos y las universidades. Los proyectos presentados son evaluados por expertos y si superan dicho filtro suelen ser subvencionados en una cierta cuantía, generalmente inferior a la solicitada.

En determinados países, generalmente muy desarrollados económica y científicamente, existen centros de investigación privados, dedicados a funciones similares a las de los centros de investigación públicos, pero cuyos programas de investigación no dependen de un centro coordinador, sino de un Consejo de Dirección o Patronato, el cual orienta las investigaciones del centro hacia áreas muy específicas, en las que un determinado sector económico, industrial, agrícola, ganadero, minero, etc., que por muy diversos motivos pueden tener interés para el Consejo o Patronato.

Los centros de investigación de la industria tienen por finalidad la *supervisión y expansión* de la empresa donde ejercen su cometido. Para ello, sus objetivos se centran en la *innovación tecnológica* dentro del área o áreas de un sector industrial determinando. Los objetivos generalmente se enmarcan en la *política general de la empresa* y su investigación está dirigida de una forma muy concreta por la dirección general de la empresa.

#### **3.2.2.2.- PLANTEAMIENTO DEL OBJETIVO.**

Establecidas las diferentes motivaciones que existen para la ejecución de proyectos de investigación, se exponen a continuación las consideraciones generales que conviene tener presentes al plantear el objetivo concreto de un proyecto de investigación:

- El objetivo de un proyecto de investigación debe seleccionarse teniendo en cuenta la especialidad e idoneidad del investigador o del grupo que debe llevarlo a término, a fin de aumentar las probabilidades de finalizar con éxito el proyecto planteado.
- El objetivo del proyecto debe estar claramente definido, de forma que no existan dudas o ambigüedades de lo que se pretende alcanzar. El objetivo puede fijarse por parte del investigador individualmente o conjuntamente con el supervisor de la investigación, muy especialmente cuando el investigador es principiante.
- El objetivo debe plantearse positivamente, y nunca formularlo de tal forma que se indique que el propósito es probar alguna cosa. Por lo tanto, evitar el empleo del término “probar” en el planteamiento del objetivo de un problema de investigación.
- Al plantear el objetivo es generalmente aconsejable plantear un objetivo general y un objetivo inmediato. El primero debe abarcar un campo más amplio que el segundo, pero dentro del mismo campo de la investigación.
- El objetivo debe revisarse después de cada etapa significativa ya que nuevos hechos pueden dar una visión más profunda de la investigación y puntualizar mejor el objetivo, bien reduciéndole, ampliándolo o sustituyéndole.
- Finalizado el trabajo de investigación se debe comprobar que se han cubierto los objetivos *marcados* a lo largo de la elaboración del propio trabajo de investigación.

### **3.2.3.- REUNIÓN DE LOS DATOS CONOCIDOS.**

#### **3.2.3.1.- FASE PREVIA.**

Al abordar esta segunda etapa es necesario responder a las preguntas: ¿qué datos? y ¿cuántos datos?, cuestiones que no siempre tienen fácil respuesta, ya que obtener toda la información que esté relacionada con el objeto de la investigación y sea necesaria para tener un verdadero conocimiento de lo que se ha efectuado hasta entonces, suele ser muchas veces una tarea realmente complicada. Generalmente, la solución pasa en la mayor parte de los casos por una serie de acciones como puede ser consultar libros, revistas científicas o tecnológicas, resúmenes anuales (annual review), actas de congresos, etc., en los que se haya publicado sobre el tema o temas colaterales relacionados con el trabajo.

La opinión entre los investigadores experimentados es que se debe recapacitar sobre la propia experiencia en hechos relacionados con el objeto de la investigación, especialmente cuando éste no es nuevo para el investigador. En esta etapa preliminar, se debe pensar en posibles soluciones al objeto de la investigación que se deben acompañar con el análisis del trabajo realizado previamente por otros investigadores. De esta forma, el investigador está en condiciones de elaborar un plan provisional que refleje tanto sus ideas como las de otros investigadores, demostrando a priori su capacidad creativa.

Finalizada esta primera etapa, y si el investigador forma parte de un grupo, lo lógico es discutir sus ideas con investigadores experimentados de su grupo y, a partir de aquí, mantener o modificar, de acuerdo con su criterio, el esquema previo planteado. Después, se puede iniciar la búsqueda de la información bibliográfica. En el caso de que el objetivo de la investigación sea completamente nuevo, lo más aconsejable es documentarse acerca de los aspectos fundamentales del objeto de la investigación. Posteriormente, se debe efectuar una recopilación bibliográfica.

### 3.2.3.2.- RECOPIACIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICAS.

El objetivo de recopilar y revisar la bibliografía existente sobre el trabajo de investigación es tener conocimiento a priori de lo que se ha publicado relacionado con la investigación, pudiendo ser esta relación más o menos directa. Esta etapa es fundamental para no repetir un trabajo ya realizado y para conocer lo que otros investigadores han efectuado en el entorno de la propia investigación, lo que puede reportar nuevas ideas acerca del planteamiento y conocer los métodos empleados por otros investigadores en casos similares. El investigador debe tener un cierto espíritu crítico, siendo consciente de que mucha información escrita sólo describe “medias verdades” o copias refundidas de publicaciones anteriores. Este es el motivo que justifica una buena selección de las fuentes de información, por lo que se recomienda centrarse en revistas con revisión previa de los artículos, lo cual no quiere decir que en revistas sin este tipo de revisión no se pueda encontrar información interesante, aunque se recomienda un espíritu más crítico con ellas.

Otra pregunta que el investigador debe formularse antes del inicio de la recopilación es: ¿cuánta información es necesaria?. La respuesta es difícil pues depende del objetivo de la investigación, del área de conocimiento, de la información publicada y de los medios a disposición del investigador. Por lo general, el investigador experimentado posee un archivo ordenado en donde va almacenando lo que se publica en lo referente a su línea de trabajo, pudiendo mediante su examen, situar el punto de partida desde el cual debe empezar la recopilación bibliográfica, si es que fuera necesaria, mediante la utilización de los bancos de datos informatizados.

Si éste no es el caso, es necesario efectuar un barrido bibliográfico, bien a través de los resúmenes informatizados o no, (Abstracts), que suelen publicarse en muchos campos científicos, o en los bancos de datos informatizados. La utilización de éstos requiere una cuidadosa selección en los términos (palabras clave) empleados en la configuración de la pregunta, a fin de evitar la aparición de índices de títulos y/o resúmenes bibliográficos innecesarios. El inicio de la búsqueda bibliográfica depende bastante del área en donde se sitúa el trabajo; en sectores muy dinámicos o en nuevas tecnologías es aconsejable situar el inicio hasta los 5-10 años, mientras que en áreas más tradicionales y dependiendo del tema, se puede ir más allá.

Para aprovechar bien la información recogida se requiere un estudio inteligente de la misma, que permita una adecuada organización de los diferentes contenidos existentes y posteriormente efectuar la planificación del trabajo.

### 3.2.4.- ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS.

El método científico sugiere que los datos deben ser ordenados de manera conveniente. Esta etapa, muy necesaria para extraer de la información recopilada aquella que en cada fase del planteamiento, de la ejecución y de la discusión pueda ser de utilidad, es llevada a cabo muchas veces de manera arbitraria.

En cada una de estas fases se deben situar de forma ordenada la información que se obtiene durante el estudio y la reflexión del contenido de los trabajos seleccionados. Aunque cada investigador tiene su forma personal de hacerlo, un procedimiento ampliamente recomendado puede ser el que se detalla a continuación.

#### 3.2.4.1.- LECTURA DEL RESUMEN Y CONCLUSIONES.

En primer lugar, se recomienda hacer una lectura del resumen y conclusiones del documento que permitan conocer el contenido general del trabajo y las conclusiones más importantes del mismo. Esta

primera lectura permite mostrar si el trabajo está en el área o línea de investigación objeto y si las conclusiones obtenidas coinciden en todo o en parte con el objeto de la investigación puesta en marcha. Si se diera el caso de que fueran iguales de forma total o parcial, sería necesario el cambio de objeto en la investigación propuesta, puesto que la investigación sería repetida. En caso de duda, es recomendable el análisis de la Introducción, puesto que suele poner en antecedentes del estado de la cuestión y del objetivo perseguido por el trabajo.

### 3.2.4.2.- LISTA DE LOS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES.

Después de la lectura del resumen y conclusiones de las fuentes de información más ligadas a la línea de investigación propuesta, conviene hacer una lista de aquellos aspectos que se consideran más importantes en la resolución de cada etapa, del problema planteado. Un procedimiento para agrupar los aspectos más relevantes que puedan surgir, puede ser el siguiente:

- *Campo científico o tecnológico implicado.* No se trata de especificar un campo excesivamente amplio, sino aquél que el conocimiento y experiencia del investigador considere que está más próximo al problema que se desea resolver en la etapa objeto.
- *Variables.* Determinado el campo en el que se mueve la investigación, es relativamente sencillo determinar las variables conocidas que intervienen, así como sus relaciones, por medio de expresiones matemáticas o el tipo de tendencia existente entre ellas.
- *Clase de datos necesarios.* Conociendo el campo científico o tecnológico y las variables que intervienen, generalmente es fácil determinar los datos necesarios para afrontar el problema. Puede ser que algunos datos básicos no se encuentren y entonces se deben determinar por una experimentación cuidadosa, cuya mayor o menor exactitud dependerá del problema a resolver.
- *Métodos conocidos.* El conocimiento de los métodos empleados en otros trabajos examinados es otro de los aspectos que es interesante referenciar, ya que puede ayudar a la elección del método a emplear en la investigación objeto. Como es natural, en los métodos se describen los equipos empleados, las técnicas operativas y la fiabilidad de los resultados con el error obtenido en su aplicación. Cuando los métodos empleados han sido estandarizados, generalmente su descripción es más precisa que en otros casos. En la elección de un método deben considerarse los aspectos del equipo disponible en el laboratorio, la facilidad de manipulación, el coste del ensayo y su rapidez, de forma que en su momento se pueda elegir el procedimiento más adecuado.
- *Relaciones entre variables.* Este tipo de relación puede encontrarse en forma de tendencias sin expresión matemática que las relacione o con expresiones matemáticas que expresen el tipo de relación existente, lo cual es preferible. Estas relaciones matemáticas pueden ser simples o complejas.
- *Coste.* Generalmente, el investigador no es muy amante de efectuar análisis de los costes de un trabajo, o si lo hace, no tiende a obtener unos datos lo más aproximados posible a lo que determinado proyecto puede costar. Esta tendencia debe evitarse en la medida de lo posible, sobre todo en proyectos de investigación subvencionados por entidades públicas o privadas y, muy especialmente, en la investigación para empresas. No obstante, hay que tener en cuenta que el cálculo del coste de una investigación siempre será aproximado, por la propia naturaleza incierta de los proyectos de investigación, que hace difícil el predecir con exactitud su duración, así como los cambios que puede experimentar durante su desarrollo.

### 3.2.4.3.- TÉCNICA DE RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

En la técnica para archivar la información se pueden considerar dos aspectos: el sistema empleado para su clasificación y el medio utilizado. Para ello, debe seguirse una pauta que permita al investigador tener una fácil accesibilidad al dato que en un momento determinado pueda necesitar. Una técnica ciertamente extendida en la recopilación de información es la siguiente:

- *Sistema empleado.* En cada dato recopilado debe constar, “Revista-Autor Principal-Número-Año-Páginas”. Los diferentes aspectos tratados pueden clasificarse de acuerdo con varios criterios, aunque parece adecuado todo aquél que permita al investigador manejar fácilmente la información.
- *Medio utilizado.* Todos los datos recopilados se materializan de forma escrita, y con una extensión que depende del tipo de datos y de la complejidad de los mismos. Para su archivo y clasificación se puede emplear un sistema de carpetas y subcarpetas en donde mediante textos se recogen los datos, y un soporte informático para el que se puede confeccionar una base de datos codificada que permite acceder a la información precisada de forma rápida y mediante diferentes criterios de búsqueda.

### 3.2.5.- PROPUESTA DE SOLUCIÓN.

#### 3.2.5.1.- CONSIDERACIONES GENERALES.

Habiendo definido el objetivo, recopilado la información y agrupada ésta de una manera ordenada, el investigador se plantea la elección del camino a escoger para encontrar la solución a su investigación con los datos que posee, valiéndose de sus capacidades superiores de conocimiento, inteligencia, juicio y creatividad. La propuesta de solución constituye una etapa crucial para llevar a buen fin el objetivo de la investigación.

Como punto de partida, y después de una profunda reflexión, se recomienda efectuar un listado del camino que se piensa seguir, a fin de potenciar el flujo de ideas. La discusión de éstas con el director de la investigación es fuente de estímulo para el pensamiento y para descubrir aspectos que no se habían tenido en cuenta. Buscar ideas mediante un pensamiento directamente intencionado durante tiempo y con esfuerzo mental, es el único camino que puede llevar a efectuar un planteamiento adecuado. Es necesario escribir las ideas conforme van ocurriendo, evitando un juicio crítico en el momento; asimismo, conviene posteriormente compararlas con otras análogas que puedan surgir.

Toda propuesta de investigación experimental, requiere una planificación de la secuencia de los medios a utilizar, de la forma de obtener los resultados y de cómo interpretarlos. Todo ello debe ser previsto y escrito antes de empezar el trabajo experimental, a fin de que el proceso investigador se desarrolle sin anarquía y en el menos tiempo posible. Con ello no se pretende inducir a propuestas rígidas o excesivamente encorsetadas, sino reflejar la importancia de planificar y prever adecuadamente todo el trabajo a realizar.

#### 3.2.5.2.- PLANIFICACIÓN DE LA SECUENCIA EXPERIMENTAL.

El tipo de investigación y la experiencia en el campo investigador marcan la forma y la secuencia de cómo efectuar la planificación. Simplificando de una forma posiblemente excesiva, se dice que generalmente existen dos tipos de planificaciones, aquéllas que por la naturaleza de la investigación se pueden plantear totalmente desde el inicio con una cierta seguridad de conseguir el objetivo de la investigación, y aquellas otras que por su complejidad o poca experiencia en el tema requieren una

planificación en más de una etapa, la primera para efectuar una exploración que arroje alguna luz sobre el camino a seguir y una segunda para fijar el plan definitivo.

La planificación o diseño de las experiencias de acuerdo con los métodos estadísticos puede ser una herramienta muy adecuada para solucionar estos casos, ya que permite al investigador, a través de sus diferentes formas de aplicación, la obtención de datos experimentales en un campo amplio de combinación de las variables, con el menor número de experiencias. Mediante estos métodos estadísticos se puede determinar la importancia de cada una de las variables y las de sus interacciones en las diferentes respuestas planteadas al problema investigado, todo ello con un tiempo de experimentación más reducido, lo cual es de gran importancia, tanto en el campo científico como en el tecnológico. Su utilización es, desde muchos puntos de vista, muy recomendable.

### 3.2.5.3.- PLANIFICACIÓN DE LOS MEDIOS A UTILIZAR.

En este apartado de incluyen los materiales y/o productos a utilizar, el equipo necesario y sus técnicas operativas.

- *Materiales-Productos.* El tipo de material con el que se va a efectuar la investigación debe quedar bien definido en cuanto a sus características principales, composición, estructura, constantes físicas o químicas, etc. Hay que tener una cierta previsión en la cantidad necesaria y tomar un margen de seguridad por exceso, a fin de prever la repetición de operaciones por fallos en las experiencias.
- *Equipo.* El equipo de investigación empleado ha experimentado una notable modificación, incluso a lo largo de la vida de la propia investigación, permitiendo los nuevos equipos el tratamiento de mayor cantidad de datos, de forma más rápida y más precisa. Para el manejo se requieren verdaderos especialistas, dada la complejidad de su manejo, y constituyen una valiosa ayuda para el investigador, evitándole un trabajo largo, tedioso y de poca creatividad. Su adquisición crea a veces verdaderos problemas de financiación a los centros de investigación, por lo que la necesidad de adquisición para un determinado proyectos debe sopesarse cuidadosamente, buscándose alternativas que pueden pasar por una modificación de la planificación que no altere el objetivo del proyecto, por la utilización mediante pago de equipos existentes en otros centros, etc., especialmente cuando el número de ensayos o la continuidad en el tiempo de su empleo no está plenamente garantizada. Efectuadas estas consideraciones, en el equipo necesario se pueden distinguir dos casos principales, la utilización de equipo estandarizado factible de encontrarse en casas comerciales especializadas o ya existente en instalaciones nacionales o supranacionales, o en aquellos casos en los que el equipo debe ser diseñado expresamente por los investigadores, valiéndose de componentes existentes en el mercado o que ellos deben construirse, demostrando con ello ingenio y un conocimiento profundo de las fases de la experiencia y de las leyes que intervienen en el fenómeno. Al dispositivo básico suelen incorporarse los correspondientes aparatos de control, registradores, ordenadores, etc., es decir, todo aquello que pueda dar fiabilidad y rapidez a la experimentación.
- *Técnicas.* Las técnicas experimentales se pueden considerar divididas en dos amplios grupos, las que se refieren al proceso que se pretende seguir para obtener respuestas del fenómeno a investigar y las relacionadas con el análisis de los diferentes parámetros que interesa conocer en el planteamiento de una investigación. Sucede a veces que la planificación de las técnicas efectuada debe modificarse durante el curso de la experimentación, a tenor de los resultados que se obtienen. En estos casos, después de unos ensayos de tanteo, debe volverse a describir la nueva técnica a seguir, anulando la primera.

- *Resultados y discusión.* Según la índole del trabajo convendrá o no separar estas dos partes para mayor claridad expositiva. Los resultados suelen darse en forma de tablas numéricas, con la precisión que requieran los datos que posteriormente se emplean en posibles cálculos, o mediante gráficos, pero no suelen emplearse ambos, al menos para unos mismos resultados experimentales. Las tablas pueden ser, en algunos casos, difíciles de interpretar y entonces es mejor recurrir a los gráficos. Los resultados de las experiencias y de los análisis pueden interpretarse sin necesidad de cálculos posteriores o requerir de éstos para su utilización en la discusión. La discusión de los datos obtenidos es de gran importancia. A través de ella se puede catalogar la profundidad de conocimientos del investigador, su facultad de análisis y su objetividad y capacidad crítica. Es habitual en la interpretación de datos masivos, la comparación de los resultados a través de métodos estadísticos que permiten establecer diferentes hipótesis con diferentes niveles de confianza. Además, es conveniente hacer una interpretación profunda, contrastando los resultados obtenidos con los de otros investigadores, a la vez que se exponen las posibles causas de su analogía o desavenencia. Es evidente que la discusión debe posponerse a la realización parcial o total del trabajo, puesto que pueden existir etapas intermedias donde sea necesario reflexionar acerca de los resultados que se van obteniendo.

### **3.2.6.- PRUEBA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.**

Una vez escrita la planificación del trabajo de investigación, la siguiente etapa consiste en materializar los diferentes aspectos del trabajo mediante su ejecución, la determinación de observables, etc., en el ámbito de la propia investigación. Es evidente que cada área de trabajo puede requerir una forma específica de llevarlo a término, y por ello simplemente se exponen unas pautas de tipo general que sirven de guía al investigador en el desarrollo de la experimentación.

#### **3.2.6.1.- LA ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.**

Cualquier actividad es necesario llevarla a término de forma organizada para que resulte más eficaz, el trabajo de investigación no es una excepción, debiendo tener presente que se necesita:

- Una previsión de los materiales, productos, equipo instrumental, material fungible, etc., de forma que no se tenga que interrumpir la investigación por su carencia. El equipo instrumental a emplear debe ser revisado para asegurar su buen funcionamiento, sobre todo en aquellos casos en los que su utilización no es muy frecuente.
- La ejecución del trabajo experimental requiere la utilización de un espacio suficiente que permita una adecuada atmósfera de trabajo para disponer los materiales y aparatos de forma ordenada, evitando así errores en la manipulación, accidentes, problemas de espacio, etc.
- En el lugar de trabajo, además del orden, se debe procurar la limpieza del material utilizado a medida que ya no sea necesario y su colocación, una vez limpio, en el sitio que se le tiene asignado para su almacenamiento y conservación.
- Especial cuidado debe tenerse con los equipos delicados y caros, tanto por lo costosas que son sus averías como por el retraso que se produce en la investigación cuando éstas se producen.
- El trabajo debe organizarse en las máximas condiciones de seguridad personal, por lo que en el lugar donde se desarrolla la investigación se debe disponer de todo lo necesario en materia de protecciones tanto individuales como colectivas.

### 3.2.6.2.- EL PLAN DE TRABAJO.

En la ejecución del plan de trabajo establecido deben tenerse en cuenta algunas consideraciones:

- La planificación establecida se considera el mejor camino para alcanzar el objetivo propuesto evitando la anarquía. Sin embargo, ello no quiere decir que su rigidez sea de tal naturaleza que impida su modificación cuando a través de los resultados, en muchos casos parciales, la reflexión y el razonamiento así lo aconsejen.
- La experiencia enseña que es conveniente, después de cada etapa de cierta entidad, reflexionar sobre los resultados obtenidos y considerar si ellos confirman lo esperado o, por el contrario, se apartan de lo que en buena lógica debía acontecer. En cualquier caso, es conveniente el comentar con el director de la investigación el resultado parcial encontrado.
- Durante el desarrollo del trabajo experimental, si bien no es posible hacer una lista exhaustiva de recomendaciones, sí que conviene indicar algunas de las más relevantes:
  - *Experimentar con una variable en cada observación.* En la experimentación convencional se recomienda observar una variable cada vez, de forma que las campañas de observación angular sean exclusivamente angulares y las de distancias sean expresamente distanciométricas.
  - *Seleccionar cuidadosamente las variables a medir.* En igualdad de circunstancias es preferible medir las variables que pueden dar una respuesta directa e importante acerca del problema.
  - *Observar y recoger todos los resultados.* Algunas veces sucede que los datos más significativos de una investigación son aquéllos que a primera vista se consideran como erróneos. Por ello, se recomienda almacenar todos los datos, tanto los buenos como los malos, para posteriormente ser filtrados y procesados.

### 3.2.6.3.- EL INVESTIGADOR.

El investigador para llevar a cabo su trabajo debe cumplir los siguientes requisitos básicos:

- *Responsabilidad personal.* La responsabilidad del investigador es sin duda un “valor que se le supone” dentro del cuadro de requisitos básicos que debe cumplir, todo ello basado en el interés personal que el propio investigador debe tener en que el desarrollo de la investigación sea el mejor posible.
- *Observación.* En general, la capacidad de observación del investigador es una cualidad que se desarrolla con la educación y se aumenta con la experiencia y cierta aptitud personal para fijarse en lo que sucede a su alrededor. En la investigación por observación de la naturaleza, esta actitud del investigador es condición imprescindible durante el desarrollo del trabajo.
- *Horario.* Siempre que sea posible, la investigación debe hacerse compatible con un horario razonable. No obstante, existen circunstancias en donde esto no es posible, y en estos casos, el investigador debe supeditar su horario a la buena marcha de la investigación. En algunas circunstancias, tales como fases clave de la experimentación, la presencia física durante el desarrollo del trabajo debe ser prioritaria a otras actividades propias de su estatus, tales como asistencia a conferencias, congresos, seminarios, etc.

- *Relación personal.* Durante la experimentación, la relación personal con el director es vital para la buena marcha de aquélla. La relación entre el director de la tesis y el propio doctorando pasa por las siguientes etapas:
  - Es importante que el director de tesis escuche los puntos de vista del doctorando, lo cual implica una correcta accesibilidad y trato atento hacia éste. Sin embargo, debe ser precavido en intervenir directamente en los planes y programación del doctorando, a fin de no coartar su creatividad.
  - En el intercambio de sus puntos de vista, el director de tesis debe expresar su amplio conocimiento sobre la materia objeto del proyecto, indicando los elementos clave de la investigación y, por consiguiente, las cuestiones importantes, dejando las contestaciones a éstas a la responsabilidad del doctorando.
  - La comunicación entre el director de la tesis y el doctorando durante el desarrollo del trabajo debe efectuarse de manera informal y sin que requiera emplear mucho tiempo. La duración de una hora cada quince días puede ser una orientación adecuada.

#### 3.2.6.4.- EL DIARIO DEL INVESTIGADOR.

Como anteriormente se ha indicado, todo aquello que se observe o realice durante el desarrollo de la investigación debe tener constancia escrita, para evitar que se olviden algunos aspectos que pueden ser decisivos durante el desarrollo del trabajo experimental. Para ello se utiliza el *Diario del Investigador*, para cuya puesta en práctica existen varios procedimientos, considerándose oportuno proponer algunas pautas que la experiencia ha demostrado como adecuadas para el fin que debe cumplir este documento.

- *Finalidad.* Este documento tiene por finalidad dejar constancia escrita de forma clara, ordenada e inteligente, de cómo se ha efectuado cada experiencia y de las observaciones a que ha dado lugar, a fin de poderlas repetir, si fuese necesario, tanto por el propio investigador como por personas ajenas en un determinado periodo de tiempo, para contrastar los resultados experimentales obtenidos. Constituye un documento muy valioso de la investigación y nunca debe ser omitido durante el desarrollo del trabajo. Su lectura y reflexión pausada permiten una consideración tranquila de los datos, forma de llevar a cabo la experiencia, de los resultados obtenidos, de las modificaciones a introducir, caso que se consideren necesarias, así como si se cumplen o no las expectativas esperadas de la investigación en curso. Se debe ir efectuando simultáneamente a la experiencia cuando los datos, observaciones y reflexión acerca de lo que acontece estén vivos en la mente del investigador y el tiempo no haya desvirtuado la realidad de los hechos.
- *Contenido.* En cuanto al contenido del diario, existen dos criterios básicos: en el primero se incluye la planificación de las observaciones conjuntamente con los datos y observaciones que la experimentación va mostrando; en el segundo se separan la planificación de las observaciones en un documento aparte y en el diario se anota lo que es propio del desarrollo experimental. La utilización de una u otra forma puede depender de la amplitud del trabajo a desarrollar, siendo aconsejable la primera modalidad cuando la investigación no es muy extensa y la segunda en el caso contrario. El contenido del diario debe estructurarse de forma que sea fácil conocer el tema de la investigación, el personal que ha intervenido, cuándo se llevó a término, los detalles de cada experiencia, la discusión de los resultados importantes y las conclusiones del trabajo, así como las posibles futuras investigaciones a efectuar.

Centrándose en el contenido fundamental del diario, la transcripción del desarrollo de cada experiencia debe contener:

- Tipo de instrumentos empleados y sus técnicas.
  - Esquemas o planos de puntos utilizados.
  - Técnica experimental empleada, haciendo constar aquellos parámetros más importantes y las condiciones de desarrollo de la experiencia.
  - Observaciones importantes, si las hubiere, durante el transcurso de la investigación.
  - Resultados numéricos obtenidos, expresando sus unidades, bien en forma de tablas o de gráficos.
  - Fórmulas empleadas en la elaboración de los resultados, así como los valores hallados con sus unidades.
  - Discusión parcial de los resultados finales, indicando la concordancia, disconformidad o novedad con los hallados por otros investigadores, citando la bibliografía pertinente.
  - Cualquier tipo de anotación que se considere conveniente o necesaria para ulteriores experiencias.
  - Experiencias abandonadas y su justificación. Experiencias relacionadas de otros trabajos y su ubicación (archivo y fecha).
  - Fecha de inicio y fin de la experiencia.
- *Estructura.* La forma de estructurar el contenido puede ser variada, siendo aconsejable la siguiente:
- La primera página debe servir para la identificación del proyecto de investigación.
  - En las siguientes, a modo de introducción, se puede anotar el objetivo y las conclusiones más relevantes, de tal forma que puedan servir de guía a futuros interesados y decidir si el contenido del trabajo puede ser o no de su interés.
  - A continuación se suele indicar, de forma concisa, las referencias de trabajos anteriores del autor o de otros, que han servido de base para saber la situación del conocimiento del área en la que se sitúa el trabajo de investigación.
  - Después de las anotaciones anteriores se puede iniciar, en páginas numeradas, cada una de las experiencias, indicando su número, condiciones de observación de forma detallada, resultados y el análisis de los mismos.
  - Tanto la parte teórica como la práctica deben quedar cerradas por un resumen de las discusiones más importantes y las conclusiones del trabajo, así como los posibles desarrollos futuros, si hubiera lugar a ello.

- Puede ser interesante anotar los tiempos transcurridos, la desviación sobre el tiempo previsto y un análisis o balance sobre el coste de la investigación.

### 3.2.6.5.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Para la presentación del análisis y de la discusión de los resultados, dependiendo del tipo de investigación, se puede efectuar bien en determinadas fases de la propia investigación, consideradas importantes para su posterior desarrollo, o bien al final de la misma. Por lo general, en las investigaciones cuyas etapas posteriores se apoyan en los resultados obtenidos en etapas previas, es aconsejable la primera modalidad; sin embargo, en investigaciones en las que es necesario tener todos los datos para poder realizar tanto el análisis como la discusión, es mejor al final de la investigación.

En esta etapa del método científico es donde se ponen a prueba, más que en otras, ciertas capacidades del investigador, como por ejemplo:

- *Profundidad de sus conocimientos.* Tanto en el tema del trabajo como en las ciencias básicas en las que se fundamente.
- *Capacidad creativa en la interpretación de los resultados.* Por lo general, en una primera fase se utiliza el pensamiento lógico; para ello, si éste no aporta la solución, es necesario recurrir al pensamiento creativo (imaginación, iluminación o inspiración) para encontrar la solución al problema.
- *Esfuerzo mental.* Tanto en tiempo como en intensidad, por lo que en muchas ocasiones se produce una cierta fatiga.

### 3.2.7.- PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.

La presentación de los resultados es la última etapa del método científico. Como criterio general, se puede indicar que en la presentación final influyen el lugar y circunstancia en donde éstos deben exponerse.

En investigaciones como son las tesis doctorales, en las que la presentación de resultados suele hacerse al margen de la propia defensa en seminarios, simposios, congresos, revistas científicas o técnicas, su forma de presentación deberá atenerse a la normativa que en cada caso se proporcione a los autores, tanto en lo que hace referencia a la forma de estructurar la presentación como a su extensión. Por ejemplo, es muy corriente que estas exposiciones consten de: introducción, parte experimental, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y bibliografía.

## **4.- PROCESO DE ELABORACIÓN Y CONTENIDO.**

### **4.1.- ELECCIÓN DEL TEMA DE LA TESIS.**

#### **4.1.1.- NOCIÓN E IMPORTANCIA DE LA ELECCIÓN DEL TEMA.**

La elección del tema de la tesis es una decisión mediante la cual el doctorando determina, no sólo el área científica a la que se va a referir aquélla sino también la cuestión o tema concreto que dentro de esta materia se propone investigar. Así pues es una actividad compleja que requiere establecer no sólo el área o fenómeno que se va a estudiar, sino también precisar qué es lo que se intenta saber o descubrir respecto a dicho fenómeno.

El tema elegido de la tesis no puede ser de cualquier tipo, puesto que tiene que entrañar necesariamente una investigación científica; como tal, debe versar sobre algo no conocible mediante procedimientos directos y comunes, constituyendo por tanto un problema científico. Un problema de este tipo debe ser siempre el núcleo central del tema de la tesis, por ello la elección del tema debe coincidir con la resolución de un problema de investigación.

#### **4.1.2.- CONDICIONES DEL TEMA DE LA TESIS.**

Las condiciones del tema de la tesis o del problema a investigar son simplemente los requisitos que como tal debe reunir. Estos requisitos se pueden considerar desde dos puntos de vista: subjetivo y objetivo. Desde un punto de vista subjetivo, es decir, teniendo en cuenta las circunstancias personales del doctorando, los requisitos del problema a investigar se pueden agrupar alrededor de los tres rasgos fundamentales que debe cumplir la tesis: viabilidad, no excesiva dificultad e interés. Con relación al primero, la viabilidad, el criterio fundamental a seguir es que, antes de decidir el tema elegido, se esté seguro de que su desarrollo no exige:

- Conocimientos especiales en el doctorando, por ejemplo, matemáticos, estadísticos, lógicos, informáticos, etc., que no posee ni puede adquirir previamente.
- El dominio de lenguas extranjeras que el doctorando no conozca.
- El empleo de métodos o técnicas especiales o el uso de instrumentos en los que no esté adiestrado el doctorando.
- Un tiempo de duración mayor que el que se le puede dedicar o un coste económico superior a las posibilidades del investigador.

En cuando al segundo rasgo, no excesiva dificultad, y partiendo del supuesto normal de que la tesis es la primera investigación independiente que se realiza, el criterio básico debe ser elegir un tema que esté al alcance del doctorando, como persona que se inicia en el amplio contexto de la investigación. Este criterio implica el ejercicio de una cierta modestia en la elección del tema, de modo que en lugar de enfrentarse con los grandes problemas científicos aún no resueltos, se deben escoger temas científicamente significativos, pero de menor envergadura, que incluso pueden ser accesorios con relación al gran problema sin resolver.

Por último, sobre el tercer rasgo, el tema elegido debe ser tal que represente para el doctorando un triple interés: psicológico, profesional y social. Psicológico, porque la investigación científica reclama que se realice con verdadera pasión y total entrega, lo que probablemente no ocurrirá si se es consciente que el tema elegido es banal e intrascendente. La investigación científica, al no ser un

proceso rutinario, y requerir originalidad y pensamiento creativo, es muy sensible al estado psicológico del científico. Profesional, porque es lógico y aconsejable que exista una concordancia entre el tema elegido y la orientación profesional, inmediata o futura, que se piensa seguir. El interés social del tema elegido, la consideración de su utilidad posible, próxima o remota para la comunidad en general, es un aspecto a tener en cuenta también en la elección del tema de la tesis.

Objetivamente, es decir, sin tener en cuenta el doctorado o investigador, se pueden destacar los siguientes requisitos:

- El tema de la investigación debe constituir un problema de la ciencia susceptible de investigación científica.
- El problema a investigar no ha de ser vago y genérico, sino que debe ser concreto y estar formulado lo más precisamente posible.
- El problema elegido debe ser innovador, por lo que no son admisibles investigaciones sobre fenómenos ya conocidos y estudiados o cuestiones ya resueltas.

#### **4.1.3.- ELECCIÓN DEL TEMA Y OBJETO DE LA TESIS.**

En la actualidad no existen reglas precisas para la búsqueda y hallazgo de temas significativos de investigación científica. En base a este razonamiento, y teniendo en cuenta las consideraciones realizadas en el epígrafe anterior sobre la potencialidad del doctorando, disponibilidad de recursos humanos, materiales, metodológicos, etc., se plantea realizar una tesis cuyo tema central sean las auscultaciones geodésicas.

Si el tema central planteado son las auscultaciones geodésicas, para definir correctamente el tema de la tesis conviene pormenorizar el objeto de la misma, que en el presente caso consiste en realizar un contraste en la ejecución de auscultaciones geodésicas por métodos clásicos y con láser escáner. El primer método, históricamente empleado a través de la observación de ángulos y distancias, con aparatos topográficos convencionales, está ampliamente contrastado y sus resultados están en un orden de precisión parecido al exigido en este tipo de actuaciones topográficas. El segundo método se sustenta en un instrumental de reciente aparición en el mercado, que combinado con la metodología de observación adecuada y sus correspondiente resultados, es el que se pretende contrastar en esta tesis, determinando si los resultados obtenidos permiten emplear estos equipos y técnicas en uno de los trabajos más precisos que se realizan hoy día en el ámbito de microgeodesia.

#### **4.1.4.- BOSQUEJO DEL TEMA DE LA TESIS O DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

La determinación del tema de la tesis o del problema de investigación no es algo instantáneo y aunque puede intervenir la intuición, debe derivar de todo un proceso, más o menos largo y analizado en los epígrafes anteriores, en los que también se deben tener en cuenta aspectos como la titulación cursada, experiencia profesional, consultas bibliográficas y cómo no, la suficiencia investigadora realizada por el doctorando.

La suficiencia investigadora como primer mini trabajo de investigación realizado por el doctorando debe estar bien abocado al tema de la tesis. En el presente caso se centró en un estudio pormenorizado de las metodologías y precisiones que se obtienen con el láser escáner, lo cual reafirma la elección del tema elegido para la redacción de la tesis.

Con el objeto de centrar el tema elegido para la redacción de la tesis, se pueden definir los siguientes rasgos:

- *Enunciado.* Contraste en la ejecución de auscultaciones geodésicas por métodos clásicos y con láser escáner.
- *Naturaleza.* Investigación experimental sin hipótesis previa.
- *Ámbito.* Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría (Microgeodesia).
- *Concreción.* Análisis de las metodologías de observación y precisiones que se pueden obtener en la ejecución de auscultaciones geodésicas con técnicas topográficas convencionales y láser escáner.
- *Importancia científica.* Determinación de la validez de este instrumental de reciente aparición para la ejecución de auscultaciones geodésicas con los beneficios que ello reporta.

#### 4.2.- PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TESIS.

El proceso de una investigación experimental sin hipótesis previa, como la planteada en la presente tesis, requiere una secuencia de fases debidamente estructurada, que marque el camino a seguir y evite desviaciones del objeto final de la investigación, situación bastante habitual en este tipo de investigaciones.

La descripción pormenorizada de las fases para elaborar la investigación tampoco es totalmente necesaria, ya que produce demasiada rigidez en la ejecución de la investigación y extensión en el presente documento, por lo que a continuación se hace una descripción un tanto generalista, pero que sin duda permite entrever el proceso de elaboración de la presente tesis doctoral:

- Revisión y análisis del estado actual de los procedimientos, instrumentos, métodos y cálculos existentes en la actualidad para llevar a cabo auscultaciones geodésicas por métodos clásicos y con láser escáner.
- Observación de una primera campaña, con la presa llena de agua y temperaturas mínimas (dentro de las posibilidades), de los observables angulares, distanciométricos y datos con el láser escáner necesarios para poder resolver la auscultación geodésica.
- Observación de una segunda campaña, con la presa vacía de agua y temperaturas máximas (dentro de las posibilidades), de los observables angulares, distanciométricos y datos con el láser escáner necesarios para poder resolver la auscultación geodésica.
- Resolución de los desplazamientos que sufre la presa entre las dos campañas de observación por métodos basados en la observación angular, distanciométricas y láser escáner.
- Contraste de los resultados obtenidos en ambas campañas de observación por las diferentes técnicas e instrumentos empleados para la ejecución de la auscultación geodésica.
- Establecimiento de las conclusiones que permitan determinar tanto si las metodologías de observación, como si este instrumental tienen el suficiente grado de exactitud y, por tanto, determinar la validez o no del instrumental ensayado y comparado con el clásico, para la ejecución de este tipo de trabajos.

## 4.3.- LA TESIS Y SU CONTENIDO.

### 4.3.1.- INTRODUCCIÓN.

La tesis doctoral en cuanto a contenido se refiere, debe ser el informe sobre una investigación científica realizada por el doctorando, pero con una singularidad fundamental, el objeto del propio documento, que no es otro que su presentación en ámbitos universitarios, para que el autor obtenga el grado académico de doctor. La tesis se puede definir como el trabajo escrito en el que el doctorando describe y explica el contenido y los resultados de una investigación científica original, efectuada con la orientación de un director y sobre una materia relacionada con el programa de doctorado.

Se dice que original es todo aquello que no se deriva de algo anterior; en el orden humano, nada es original de modo absoluto, sino parcial. Lo mismo sucede en la investigación científica, en la que siempre es parte de unos conocimientos previos. La originalidad en la tesis, por tanto, no puede consistir en una total novedad, sino que debe ser el resultado del propio esfuerzo del investigador y no una copia o plagio de una investigación anterior, debiendo realizar alguna aportación nueva, aunque sea modesta, que signifique un cierto adelanto en la ciencia y en sus métodos, o un avance en el conocimiento de la realidad que constituya su propio campo.

El tema objeto de la tesis habitualmente es planteado por el doctorando y admitido o no por el departamento, todo ello en base a que actualmente la asignación de los programas de doctorado a los departamentos universitarios es un hecho, siendo éstos los auténticos supervisores y directores de los diversos programas de doctorado que el propio departamento pueda plantear, siempre dentro del campo científico, técnico o artístico al que está vinculado.

La auténtica razón de ser de la tesis en cuanto a trabajo académico se refiere, es simplemente la necesidad del aspirante al máximo grado académico universitario y científico de demostrar que es capaz de realizar una investigación científica original. En cuanto al informe de la investigación científica realizada, responde a una doble necesidad:

- La exigencia científica de dar a conocer los hallazgos y descubrimientos de la investigación de alcance o interés científico, cumpliendo así la condición esencial de la ciencia moderna, que no es otra que su carácter manifiesto y público.
- Exponer y declarar los procedimientos y técnicas utilizados en la investigación, para que pueda ser reproducida, contrastada y verificada por otros científicos, o como mínimo para que se pueda juzgar la validez y fiabilidad de las nuevas aportaciones científicas que se proponen

### 4.3.2.- EL CONTENIDO DE LA TESIS.

Nada en lo expuesto anteriormente obliga o impone lo más mínimo en cuanto al contenido o el esquema al que obligatoriamente se deban ajustar todas las tesis o informes, de cualquier tipo que sean. Sin embargo, sí se pueden señalar algunos puntos básicos de acuerdo con su razón de ser y sus funciones, que merecen ser tenidos en cuenta a este respecto.

El contenido de esta tesis se puede dividir en una parte principal y otra complementaria, cabe reseñar que la primera queda conformada por el documento impreso y la segunda se presenta tan sólo en formato digital, esto es debido a su gran extensión y a que fundamentalmente contiene la justificación de los cálculos descritos en la principal. Dentro de ambas partes se pueden destacar los siguientes documentos que conforman el contenido de la tesis:

*Parte principal:*

- Índices.
- Capítulo I.- Planteamiento general de la investigación.
- Capítulo II.- Marco referencial y estado del conocimiento actual en las auscultaciones geodésicas clásicas.
- Capítulo III.- El nuevo marco de resolución mediante tecnología láser escáner.
- Capítulo IV.- Contraste metodológico en la resolución de auscultaciones.
- Capítulo V.- Conclusiones y futuras líneas de investigación.
- Fuentes de información.

*Parte complementaria:*

- Anejo Número 1.- El aprovechamiento hidroeléctrico de Saltos del Nansa y antecedentes históricos de la Presa de la Cohilla.
- Anejo Número 2.- Sensores e instrumental de auscultaciones.
- Anejo Número 3.- Auscultación clásica mediante observable angular.
- Anejo Número 4.- Auscultación clásica mediante observable distanciométrico.
- Anejo Número 5.- Ajuste de la red de pilares y puntos de seguridad.
- Anejo Número 6.- Ensayos con las observaciones del láser escáner.
- Anejo Número 7.- Auscultación con láser escáner y observable distanciométrico.
- Anejo Número 8.- Contraste gráfico y numérico.

4.3.2.1.- PARTE PRINCIPAL.

Los índices permiten estructurar y localizar todo el documento de forma pormenorizada. Existen varias clases de índices, entre los que cabe destacar los tipos empleados en la presente tesis:

- Contenido sistemático.
- Tablas y gráficos.

En el primer tipo se recogen literalmente los títulos que encabezan, las divisiones y subdivisiones de la obra, y en el segundo se hace lo propio con las tablas y gráficos del documento. Como los títulos, según se ha indicado, deben reflejar los temas básicos tratados en cada punto, estos índices sintetizan el contenido de la tesis y la significación de las tablas o gráficos.

El primer capítulo sirve para presentar o situar a grandes trazos el problema objeto de investigación, no planteando en ningún momento la solución, aunque se proporcionan algunas indicaciones generales

que son necesarias para abordar y entender más fácilmente la materia, comprendiendo así la concepción del tema y la forma de tratarlo.

En el primer capítulo se hace referencia a las siguientes cuestiones fundamentales:

- El proceso de formación del doctorando y su preparación para la investigación.
- La génesis, motivación y objeto de la tesis elegida.
- La importancia científica de la investigación realizada y las razones que justifican su estudio.
- El enunciado del problema investigado y de sus antecedentes históricos.
- La especificación del problema investigado mediante la exposición de los objetivos de la investigación.
- La descripción de la presa investigada, el marco en que se inserta y la determinación de los límites cronológicos y geográficos del estudio.

En el segundo capítulo se lleva a cabo una revisión y definición de los procedimientos, técnicas, metodologías e instrumental empleados en la actualidad para realizar auscultaciones geodésicas con técnicas topográficas clásicas. Esta definición es fundamental porque fruto de ella se elegirán posteriormente las técnicas, instrumental y método de cálculo a emplear para obtener el hipotético desplazamiento de la presa, que se empleará a posteriori como patrón a utilizar en el contraste de los resultados obtenidos con el láser escáner.

En el tercer capítulo se describe el nuevo marco que se abre para la resolución de auscultaciones geodésicas mediante tecnología láser escáner. En él se pormenorizan el fundamento de la medición, la descripción de los escáneres actuales, así como las fuentes de error que surgen en las medidas con láser escáner. El objeto de esta búsqueda y análisis tiene es entender tanto el instrumental como la metodología que se utilizan posteriormente para obtener unos desplazamientos en la presa que en teoría debieran coincidir con los obtenidos con técnicas topográficas clásicas, los cuales también serán contrastados.

El cuarto capítulo tiene por finalidad responder a la necesidad de rendir cuentas sobre las técnicas de observación utilizadas y de los procedimientos de análisis empleados para que otros investigadores puedan no sólo repetirla, sino también verificar la adecuación de dichas técnicas y procedimientos al objeto de la investigación y su correcta aplicación en el caso en cuestión. Por tanto, esta parte contiene una exposición, lo más clara y completa posible, de la metodología seguida en las operaciones básicas de la investigación mediante la enumeración de las variables generales y empíricas estudiadas y de sus definiciones operativas adoptadas, y de las técnicas empleadas en la observación, cálculo y análisis de resultados:

- Respecto a la observación, se proporcionan todas las explicaciones que son pertinentes sobre los elementos observados. Sobre los instrumentos, generalmente se dan los datos que los caracterizan, nombre, marca, tipo, etc., sin describirlos en detalle. También se explica el procedimiento seguido para su manejo y los resultados de las observaciones.
- En cuanto al cálculo, se da cuenta de los procedimientos seguidos en la investigación para la obtención de los resultados, reseñando las experiencias dignas de mención, las dificultades especiales encontradas y el modo de resolverlas y clasificarlas.

- En relación al contraste de resultados, cabe destacar que no falta la indicación de los tipos y modalidades de análisis utilizados: coeficientes de asociación, test de hipótesis empleados para comprobar la significación respecto a la población de los resultados y otros tipos de análisis matemáticos, con especial mención de las particularidades que presentan en la investigación de que se trate. El objetivo de esta tercera parte del informe, responde a la necesidad de divulgar los resultados de la investigación; por tanto, en ella se exponen, en primer lugar, dichos resultados, de manera ordenada, clara, detallada y global, con indicación de sus fuentes y fundamentos concretos dentro del conjunto de las operaciones de la investigación, se enjuician críticamente la validez y fiabilidad de los resultados en cuestión, a la vez que se les compara con los resultados obtenidos con otras fuentes.

En el quinto y último capítulo de la tesis se exponen las conclusiones. Toda tesis debe presentar alguna aportación, aunque sea modesta, que signifique un cierto adelanto en la ciencia o en su método o un avance en el conocimiento de la realidad que constituye su campo propio por tanto, las conclusiones es la parte de la tesis en la que se pone de relieve, con los argumentos adecuados, sintética y sistemáticamente, lo que ésta supone de novedad, y las aportaciones teóricas y prácticas que a su juicio implica, abriendo futuras líneas de investigación y poniendo punto final al trabajo de investigación.

Las fuentes de información son un compendio de todos aquellos documentos que se han consultado en la elaboración de la tesis doctoral. Básicamente se pueden reducir a bibliografía, artículos en revistas especializadas, actas de congresos y otros trabajos de investigación referentes o complementarios a la materia objeto de la investigación realizada en esta tesis. Las fuentes de información se han estructurado mediante la siguiente configuración:

- En primer lugar una clasificación por tipos de fuentes.
- La referencia de las obras consultadas para la elaboración de la tesis, aunque no se hayan citado expresamente.

#### 4.3.2.2.- PARTE COMPLEMENTARIA.

En los anejos se pormenorizan todos y cada uno de los cálculos, ensayos, estudios y contrastes que se han realizado con el objeto de resolver la investigación planteada. Por tanto, son documentos muy específicos que de ser incluidos en la memoria, harían de ésta un documento difícilmente entendible y bastante farragoso, lo que justifica que se haya recurrido a este tipo de estructura, en la que se eliminan de la misma todos estos documentos, citándose solamente cuando es necesario y presentándoles de forma adjunta.