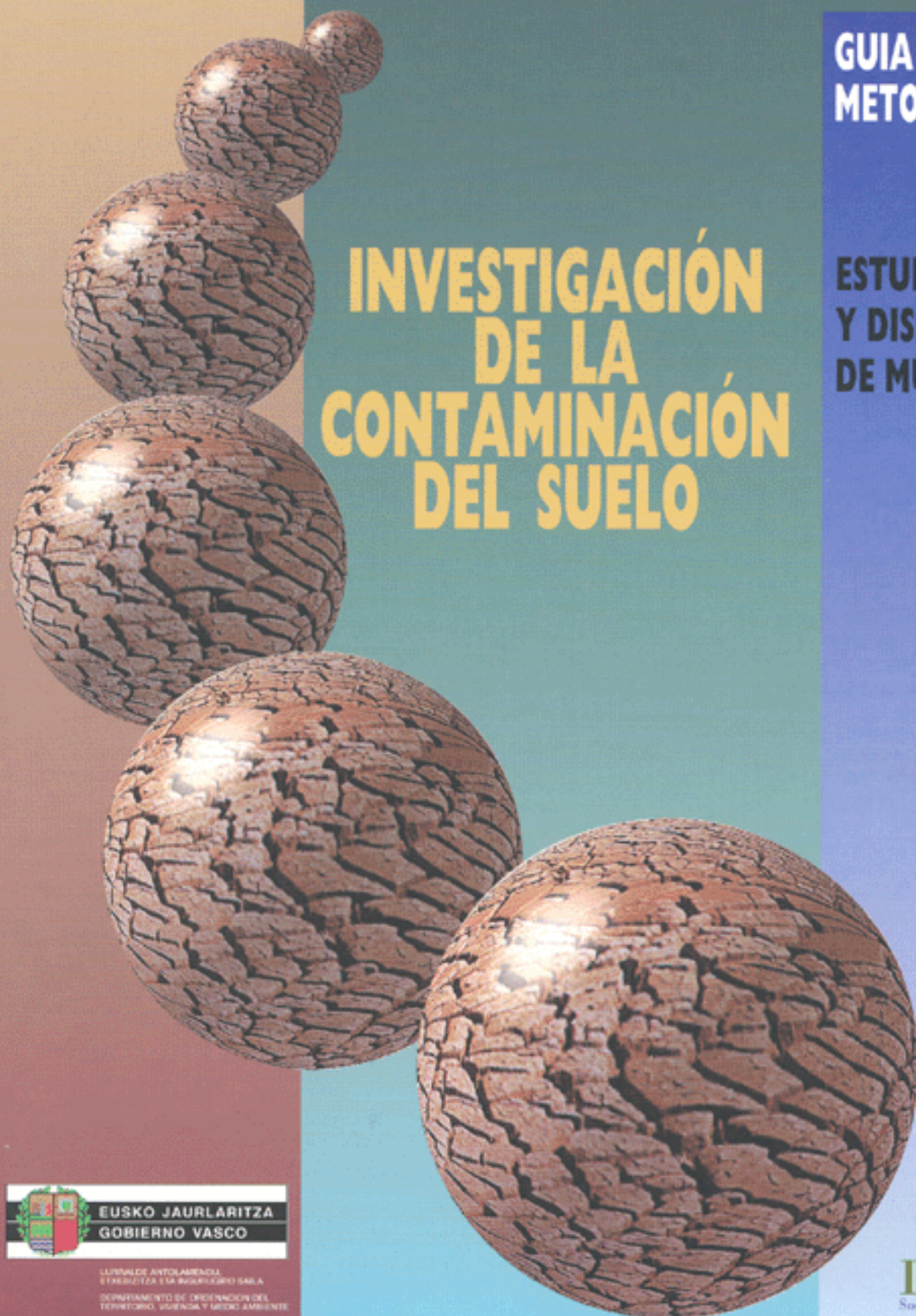


GUIA METODOLÓGICA

ESTUDIO HISTÓRICO Y DISEÑO DE MUESTREO

INVESTIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO



Eusko Jaurlaritzak lurzoru poluituen alorrean hamar-kada honen hasieran abiarazi duen politika lehentasunezkoa da gaur egun, hiri-berreskurapenerako prozesu geldiezinean ari garen herri honetan. Zeren prozesu horrek segurtasun-bermeak eskatzen ditu, bai pertsonen osasunerako bai ingurugirorako, poluitzaile izan zitezkeen ihardueretarako erabiltzen ziren lurak laster batean erabilera sentikorretarako berreskuratzerakoan.

Politika honen diseinu eta garapenaren hasiera beretik argi izan genuen gidabide metodologikoak eta prozedurak prestatu behar zirela berez nahiko gai korapilotsua den lurzoruaren kalitatea aztertzeke eta ebaluatzeke. Kezka horri erantzun nahian, gidaliburu metodologiko zenbait argitaratu dira eta azken urteotan frogaturik gelditu da aipatu eginkizunerako irizpide teknikoak bateratzeko ezin ukatuzko balioa izan dutela.

Horrezkerotik kokagune poluituen azterketa eta kudeaketan hartutako esperientziaz baliatu gara idatzi tekniko horiek aberasteko eta Euskal Autonomi Erkidegoaren beharretara eta lurozuaren poluzioaren ondoriozko arazoei modu eraginkorrean heltzeko discinatu den estrategia globalera egokitzeke.

Bakoitzari jarritako helburuak betetzeke lanketa-maila nahikoa dutela uste izan den lehenagoko gidaliburuez gain, oraingoan idatzi berriak argitaratu ditugu, batzuk aurrekoen garapenaren emaitza direnak eta beste batzuk orduan antz eman ez zitzaizen premia zenbait erantzuteke sortuak. Eusko Jaurlaritzako Lurralde Antolamendu, Etxebizitza eta Ingurugiro Saila lurzoru poluituen politikaren alde apustu egiten jarraitzeke prest dago eta espero dugu argitalpen honek gaiaren alderdi teknikoak finkatzen laguntzea.



F. J. Ormazabal

Lurralde Antolamendu,

Excehigitza eta Ingurugiro Sailburua

Consejero del Departamento de Ordenación del Territorio,

Vivienda y Medio Ambiente

La política de suelos contaminados iniciada por el Gobierno Vasco a principios de esta década, se ha convertido en estos momentos en una prioridad para un país embarcado en un proceso imparable de regeneración urbana que exige una garantía de seguridad tanto para la salud humana como para el medio ambiente ante la inminente reutilización para usos sensibles de terrenos anteriormente destinados a actividades potencialmente contaminantes.

Ya en los primeros estadios de diseño y desarrollo de esta política se comprendió la necesidad de elaborar directrices metodológicas y procedimientos cuyo objetivo no fuera otro que facilitar la ya en sí difícil tarea de investigar y evaluar la calidad del suelo. Esta inquietud se materializó con la publicación de una serie de guías metodológicas que han demostrado en los últimos años una innegable validez en la unificación de los criterios técnicos que deben regir esta tarea.

La experiencia adquirida desde entonces en la investigación y gestión de emplazamientos contaminados ha sido utilizada para enriquecer y ajustar estos documentos técnicos a las necesidades de la Comunidad

Autónoma del País Vasco y a la estrategia global diseñada para abordar de una manera eficaz la problemática originada por la contaminación del suelo.

Junto a la edición de las guías metodológicas ya publicadas cuyo grado de elaboración se ha considerado suficiente para alcanzar los objetivos que cada una de ellas tenía marcados, se presentan en esta serie nuevos documentos surgidos bien de la evolución de las ya existentes, bien de exigencias no identificadas en aquel momento, que espero contribuyan a reforzar los aspectos técnicos de esta política de suelos contaminados por la que el Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco está dispuesto a seguir haciendo una apuesta firme.

Lan honek poluituta egon daitezkeen guncetan ikerketa historikoak egiteko kontuan hartu beharreko alderdi nagusiak eta laginketa bideratzeko erabili beharreko irizpideak biltzen ditu. Lurzoruaren kalitateari buruzko ikerketaren bi osagai hauek, liburu bakarrean ez dira bakoitzak bakarka harturik nahikoa gai eskaintzen ez duelako argitaratu; hain harreman estua duten bi alderdi hauek zuzenean lotu behar direlako baizik.

Lurzoruaren kalitatea ikertzeko arloan burututako jarduera bat bera ere ez da gutxietsi behar, baina ikerketako emaitzen azken kalitatea neurri handi batean ikerketa historikoari eskainitako arretaren eta laginketa-programako prestaketaren araberakoa izaten da. Programa hori ikerketa-helburura, eskuera dagoen informaziora, epeetara, dauden baliabide ekonomikoetara eta egin daitezkeen ahaleginetara moldatu behar izaten da.

Datu historikoak biltzen eta laginketa-estrategia zehatz-mehatz planifikatzen behar bezala saiatzea, ikerketarako estrategia orokorraren mesedetan izango da, gune jakin bakoitzeko berariazko helburuetara hobeto moldatutakoa izango da, eta, ondorioz, denbora eta dirua aurreztuko dira.

1994an izenburu hauxe zuen lana argitaratu zen «*Lurzorua Babesteko Plan Zuzentzailea*» deritzon proposameneko sailaren barruan. Izan duen arrakasta ikusita, egokitzat jo dugu aldaketa batzuk eraginda berriz argitaratzea, eta aldaketa horiek, noski, azken urteotan Euskal Autonomia Erkidegoko lurzoru-kalitatearen ikerketan jasotako eskarmentuaren ondorio dira.

Este documento recoge conjuntamente los aspectos más relevantes a considerar en la realización de estudios históricos y los criterios que deben regir el diseño de la estrategia de muestreo en emplazamientos potencialmente contaminados. La publicación en un único volumen de estos dos elementos de la investigación de la calidad del suelo no responde a una falta de entidad por parte de cada uno de ellos separadamente sino a la necesidad de dotar de una conexión directa a estos dos aspectos tan íntimamente relacionados.

Si bien no debe infravalorarse la importancia de todas y cada una de las actividades desarrolladas en el ámbito de la investigación de la calidad del suelo, es indudable que la calidad final de los resultados de la investigación depende en gran medida de la atención prestada tanto al estudio histórico como a la preparación de un programa de toma de muestras ajustado al objetivo de la investigación, a la información disponible, así como a los plazos temporales, medios económicos y esfuerzos disponibles.

Una dedicación adecuada a la recopilación de datos históricos, junto con una planificación cuidadosa de la estrategia de muestreo, redundarán en una estrategia global de investigación más ajustada a los objetivos específicos del estudio de cada emplazamiento concreto, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

Ya en 1.994 se publicó un documento con este mismo título integrado en la serie de la propuesta de «*Plan Director para la Protección del Suelo*». Ante la acogida dispensada a esta publicación hemos considerado oportuno proceder a su reedición introduciendo algunas modificaciones fruto de la experiencia recopilada en los últimos años en la investigación de la calidad del suelo en la CAPV.



Esther Larrañaga
Ingenieriko Saibarnordea
Viceconsejera de Medio Ambiente

LANKETA/ELABORACIÓN:

IHOBE, S.A.
Sociedad Pública de Gestión Ambiental

ARGITALPENA/EDICIÓN:

Eusko Jaurlaritza. Lurralde Antolamendu,
Etxebizitza eta Ingurugiro Saila
Gobierno Vasco. Departamento de Ordenación
del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente

FOTOKONPOSAKETA ETA IMPRIMAKETA/
FOTOCOMPOSICIÓN E IMPRESIÓN:

Reprografía LANKOPI, S.A.

ATALDE/PORTADA:

Fernando García

LEGE-GORDAILUA/DEPÓSITO LEGAL:

Bi-1687-98

Eusko Jaurlaritzako Lurralde Antolamendu, Etxebizitza eta Ingurugiro Saileko IHOBE, S.A.ko Sozietate Publikoak honako dokumentua berrikusi du arlo horretan dauden premiei erantzuteko: IKERKETA HISTORIKOAK ETA LAGINKETA-DISEINU EGITEKO GIDALIBURU METODOLOGIKOA.

IHOBE, S.A.ko Zuzendari Nagusiak, José Luis Aurrecoechea Jn.ak, dokumentu honen lehen argitaraldian parte hartu zuten honakoei ezezik berrikustapena egin dutenei ere eskerrak eman nahi dizkie:

- IKERKETA HISTORIKOA
 - Loli Lorenzo. IHOBE, S.A.
 - Ana I. Alzola. IHOBE, S.A.
- LAGINKETA-DISEINUA
 - Ana Rallo. Euskal Herriko Unibertsitateko Zoologia eta Dinamika Zelularra Saila.
 - José Javier Castillo. IHOBE, S.A.

Gidaliburu honen zuzendaritza eta koordinazioa lanak Loli Lorenzo (Ikerketa Historikoa) eta José Javier Castillo (Laginketa-diseinua) egin dituzte, IHOBE, S.A.ko Ana I. Alzola koordinazioa teknikoaren pean eta Ignacio Quintanaren zuzendaritza teknikoaren pean.



IHOBE, S.A., Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco ha revisado la Guía Metodológica de Estudio Histórico y Diseño de Muestreo con el fin de dar respuesta a las necesidades existentes en la materia.

El Director General de IHOBE, S.A., José Luis Aurrecoechea, agradece expresamente a todos aquellos participantes en la elaboración de la primera edición de esta guía su colaboración y su participación en la revisión de la misma a:

- ESTUDIO HISTÓRICO

- Loli Lorenzo. IHOBE, S.A.
- Ana I. Alzola. IHOBE, S.A.

- DISEÑO DE MUESTREO

- Ana Rallo. Departamento de Zoología y Dinámica Celular Animal de la Universidad del País Vasco
- José Javier Castillo. IHOBE, S.A.

La dirección y coordinación del Estudio Histórico han sido llevadas a cabo por Loli Lorenzo y la del Diseño de Muestreo por José Javier Castillo, bajo la coordinación técnica de Ana I. Alzola y la dirección técnica de Ignacio Quintana de IHOBE, S.A.



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. ESTUDIO HISTÓRICO	7
2.1. INTRODUCCIÓN	7
2.2. CONTENIDO DEL ESTUDIO HISTÓRICO	7
2.2.1. EMPLAZAMIENTOS INDUSTRIALES	8
2.2.2. VERTEDEROS Y PUNTOS DE VERTIDO	13
2.3. FUENTES DE INFORMACIÓN DEL ESTUDIO HISTÓRICO	15
2.3.1. EMPLAZAMIENTOS INDUSTRIALES	16
2.3.2. VERTEDEROS Y PUNTOS DE VERTIDO	23
2.4. UN CASO PARTICULAR: TANQUES DE ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO	25
2.5. RESUMEN Y VALORACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN	28
3. DISEÑO DE MUESTREO	31
3.1. INTRODUCCIÓN	31
3.2. ETAPAS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO	32
3.3. OBJETIVOS Y ELEMENTOS DEL DISEÑO DE MUESTREO	34
3.3.1. OBJETIVOS	34
3.3.2. ELEMENTOS	35
3.3.2.1. Localización de los puntos de muestreo	36
3.3.2.2. Número de puntos de muestreo: densidad de muestreo	38
3.3.2.3. Número de muestras por punto de muestreo	39
3.4. PROCEDIMIENTOS DE ACTUACIÓN SEGÚN LAS FASES DE INVESTIGACIÓN	39
3.4.1. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA	39
3.4.2. INVESTIGACIÓN DETALLADA	47

3.4.3. TRATAMIENTO DE DATOS Y RESULTADOS	55
3.4.4. SÍNTESIS	56
3.5. BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXO I: FICHA DE TOMA DE DATOS	61
ANEXO II: NOTAS SOBRE ESTADÍSTICOS Y MÉTODOS MATEMÁTICOS USADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS Y ZONAS	69

1. INTRODUCCIÓN

Una vez detectados indicios de posible contaminación en un emplazamiento, bien sea por estar éste incluido en el **Inventario de Emplazamientos con Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo** o bien por tratarse de un solar sobre el que recaen sospechas racionales de haber soportado una actividad o acción contaminante (vertederos, emplazamientos industriales abandonados, solares rellenos de residuos, ...), ha de iniciarse una investigación de la calidad del suelo ajustada al esquema que se observa en la Figura 1.

En la primera fase de investigación, la Investigación Exploratoria, antes de proceder a la toma de muestras y al análisis químico de las muestras es necesario recopilar toda la información disponible acerca del emplazamiento objeto de estudio. Son tres los elementos que interrelacionados estrechamente permiten alcanzar este objetivo: por una parte, el *estudio histórico*, objeto de la primera parte de esta guía, por otra, el *análisis del medio físico* del suelo y de la zona adyacente al mismo (geología, hidrogeología, tipos de suelo, vegetación, parámetros climatológicos, etc.), que ofrecen una primera visión de las posibles vías de dispersión de la contaminación y finalmente la *visita al campo*, dirigida a completar in situ los datos recopilados en las dos actividades anteriores, así como obtener información acerca de la situación actual del lugar.

Estos tres elementos de la primera etapa de la fase de investigación exploratoria, además de constituir la base sobre la que se diseñará la campaña de muestreo y análisis químico, ayudarán a determinar la necesidad de aplicar procedimientos y precauciones especiales durante las operaciones a desarrollar en el emplazamiento.

Tanto el estudio histórico, como el análisis del medio físico y la visita de campo, constituyen tareas de gran relevancia en el marco general de la investigación de la calidad del suelo. Sin embargo, es la primera de ellas la que exige de una metodología más detallada que permita, en primer lugar, identificar aquellas fuentes que van a proporcionar una información más abundante y fidedigna, y en segundo lugar, optimizar el tiempo dedicado a la búsqueda de datos "*históricos*". Por ello, se ha considerado oportuno la redacción de un capítulo específico referente al estudio histórico en una guía metodológica de estudio histórico y diseño de muestreo que contenga directrices y datos prácticos que faciliten esta tarea. Las pautas para la realización de estudios del medio físico y visitas de campo se recogen en el "*Manual práctico para la investigación de la contaminación del suelo*".

Como su propio nombre indica, este documento, “*Guía Metodológica de Estudio Histórico y Diseño de Muestreo*” recoge, en una segunda parte, los criterios que, de acuerdo a las diferentes etapas en que se estructuran las investigaciones de la calidad del suelo (exploratoria y detallada), contribuirán a la elaboración de una estrategia de toma de muestras de suelo acorde con la información previa disponible y con el objetivo específico de cada etapa.

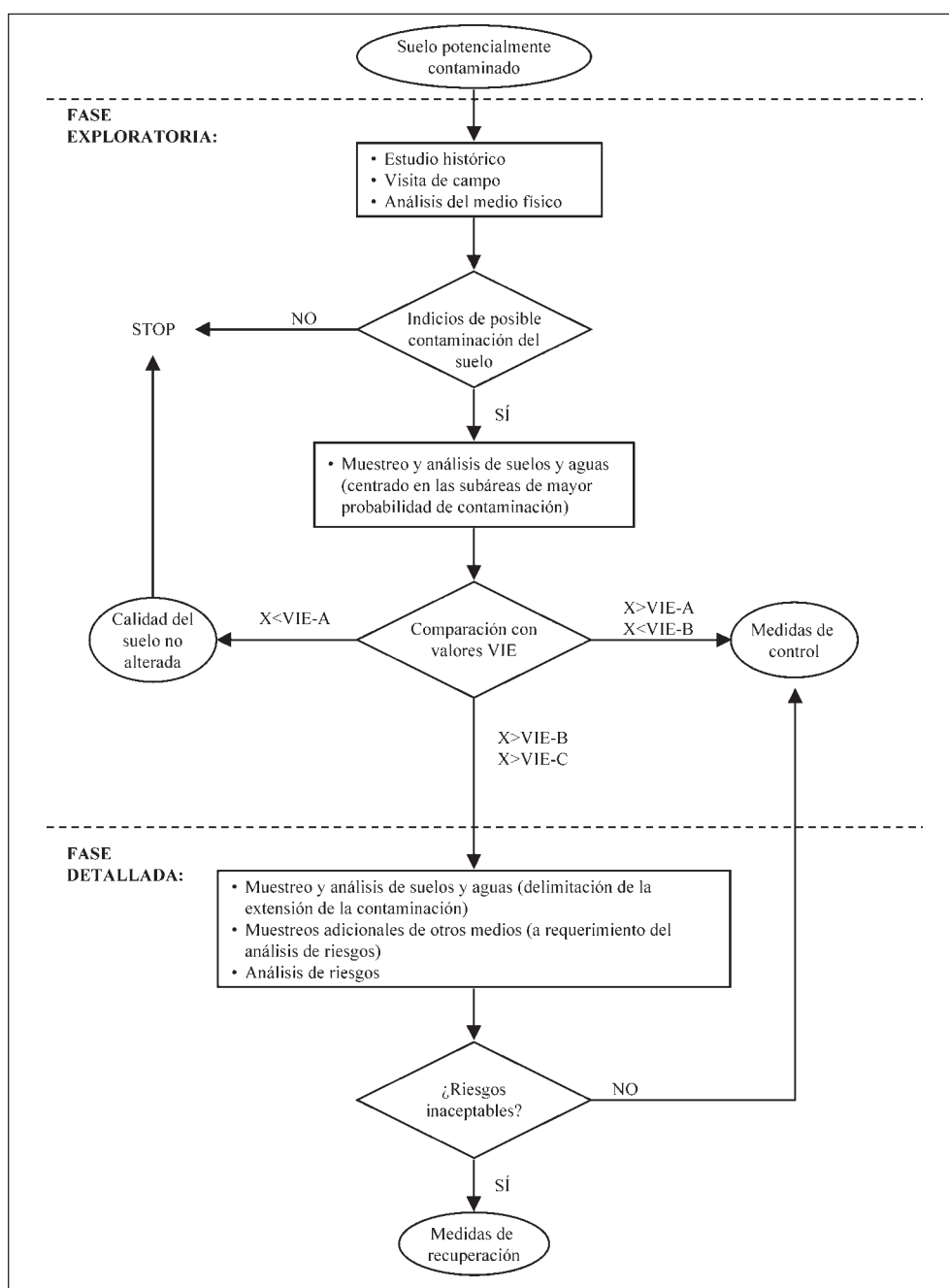


Figura 1. Esquema de las etapas de investigación en suelos contaminados

2. ESTUDIO HISTÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

El estudio histórico constituye, sin duda alguna, una tarea fundamental dentro del proceso de investigación de la calidad del suelo ya que va a marcar desde un principio la calidad de los resultados finales de la investigación. Así mismo, el estudio histórico puede determinar por sí mismo la necesidad o no de continuar con las siguientes etapas de investigación. Por ello, resulta de extrema importancia planificar adecuadamente, al inicio de esta etapa de la fase de investigación exploratoria la dedicación que será necesaria para la obtención de la mayor cantidad posible de información relativa a la evolución histórica de los usos habidos en el emplazamiento objeto de estudio.

La experiencia obtenida a través del análisis de los numerosos casos de investigación de suelos realizados, nos muestra que por lo general esta etapa del proceso de investigación no ha sido suficientemente valorada. Sin embargo, en los casos en los que ha sido posible reconstruir detalladamente el pasado del emplazamiento se ha facilitado notablemente las labores posteriores, reduciendo su coste económico y temporal, evitando imprevistos y mejorando en gran medida la calidad de las conclusiones finales obtenidas.

Sobre esta base, el capítulo dedicado al estudio histórico en la *Guía Metodológica del Estudio Histórico y Diseño de Muestreo* pretende proporcionar unos criterios de trabajo que unifiquen, en cierto modo, la metodología a seguir en los estudios históricos de suelos con indicios de poder estar contaminados. Asimismo esta guía orientará a los técnicos que realicen el estudio histórico a determinar qué, dónde y cómo, han de buscar en cada caso concreto, facilitando de este modo la compleja tarea de conseguir una buena información de partida para las fases posteriores de investigación de la calidad del suelo. Finalmente es objetivo de este documento proporcionar una evaluación de diferentes posibles fuentes de información, utilizando como criterios de valoración la accesibilidad, la calidad de los datos y los costes tanto económicos como temporales que exige su consulta.

2.2. CONTENIDO DEL ESTUDIO HISTÓRICO

El estudio histórico persigue conocer en profundidad la evolución cronológica de los usos del suelo en el emplazamiento hasta el momento presente y su

interrelación con las alteraciones posibles en el mismo, con el objetivo de:

- Confirmar los indicios previos que convierten al emplazamiento en sospechoso de estar contaminado.
- Acotar las zonas a investigar en aras a dirigir más certeramente el diseño del muestreo.
- Definir en la medida de lo posible la naturaleza de la contaminación simplificando la tarea de decidir sobre los contaminantes a analizar de las muestras extraídas.
- Realizar una primera aproximación a los problemas que puede representar la contaminación del suelo.

Previo a dirigirse a las diferentes fuentes de información disponible, es necesario, con objeto de obtener el máximo número de datos relevantes, reflexionar y plantearse claramente la estrategia a seguir en el estudio histórico en función, en principio, del tipo de solar.

Resulta así imprescindible fijar los elementos que constituirán el objeto de la búsqueda ya que la precipitación en esta fase de estudio puede conllevar un desperdicio innecesario de tiempo y de dinero, y a la pérdida de datos significativos para las etapas de investigación posteriores.

Seguidamente se indicarán algunos de estos elementos, introduciendo una diferenciación en función del tipo de emplazamiento.

Así se prestará una especial atención a los solares industriales (generalmente inactivos) y a los vertederos o puntos de vertido, considerados como prioritarios en el marco de la política de protección del suelo de la Comunidad Autónoma del País Vasco, además de constituir la inmensa mayoría de los emplazamientos investigados. No ha de olvidarse que las indicaciones que se proporcionan en esta guía tienen un carácter meramente orientativo.

2.2.1. EMPLAZAMIENTOS INDUSTRIALES

En estos momentos, en los que nos encontramos inmersos en una profunda transformación de la estructura productiva, se está produciendo, un fuerte proceso de regeneración o renovación urbana. Si consideramos el gran número de fábricas que han cerrado sus instalaciones, unido a la escasez de suelo útil disponible y la inmejorable oportunidad urbanística de estos emplazamientos, nos encontramos con la imperiosa necesidad de regenerar estos espacios actualmente en estado de inactividad. Un primer paso consistirá en

la rápida demolición de estos edificios y pabellones, ofreciendo al mercado inmobiliario superficies libres para su inmediata ocupación en primer lugar, y un cambio de imagen urbana ya consensuada como muy necesaria en segundo lugar.

Realizar inversiones en la construcción de estructuras edificatorias, espacios libres de ocio, etc. sin conocer exactamente lo que se esconde debajo de la superficie de ese solar y sus posibles consecuencias, puede resultar como mínimo arriesgado. Con un criterio de garantía y seguridad de la inversión en un medio plazo se hace indispensable realizar una investigación exploratoria, y como parte de ella el estudio histórico, para estos casos.

A continuación se señalan algunos de los aspectos sobre los que se recopila la información en el estudio histórico para este tipo de emplazamientos industriales:

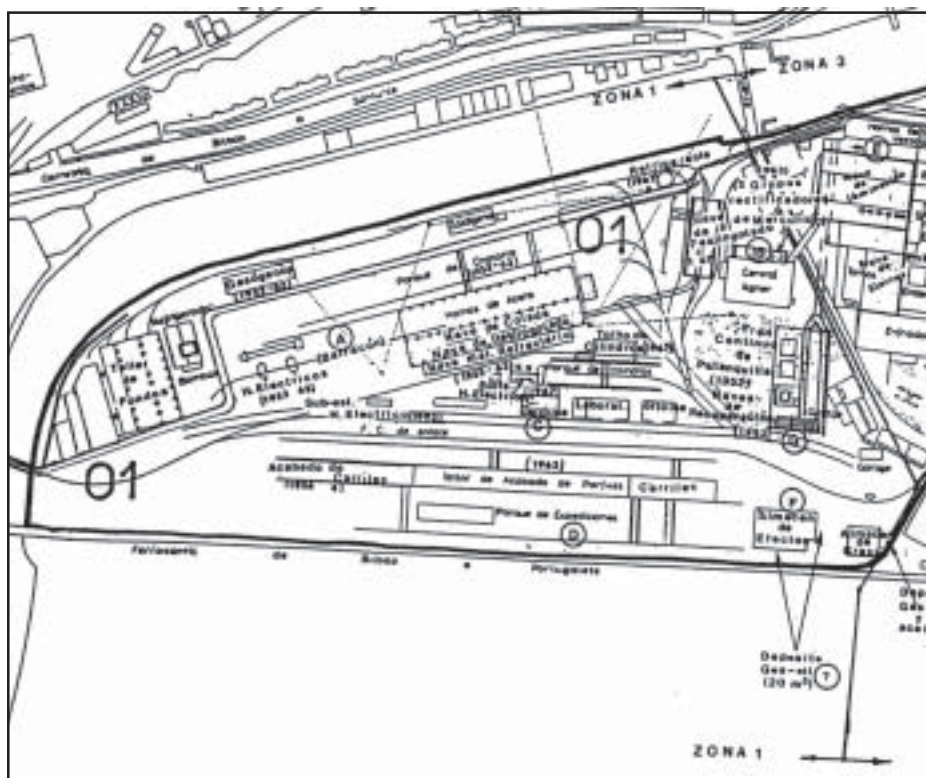
a) Antecedentes generales

- Ubicación geográfica.
- Superficie (libre y edificada).
- Uso/s anterior/es del solar y de zonas adyacentes.
- Datos de constitución de la empresa.
- Propietarios/Usuarios.
- Actividades productivas desarrolladas en el emplazamiento.
- Evolución y situación del sector que permita la detección de cambios en el proceso productivo.

b) Distribución de la factoría

- Localización en plano de edificios e instalaciones, tanto actuales como ya inexistentes, aéreas y subterráneas (depósitos, transformadores, ...).
- Localización en plano de redes de abastecimiento, canalizaciones, tuberías, etc. tanto actuales como inexistentes.
- Superficie de la zona ocupada.
- Material y estructura de construcción de edificios e instalaciones (detección de presencia de amianto, espesor de las soleras, cimentación, ...).

Mapa 1. Ejemplo de plano de localización de los distintos edificios e instalaciones



c) Proceso productivo

- Análisis de los procesos productivos por períodos de actividad.
- Características principales, composición química y cantidades de las materias primas y reactivos, de los productos fabricados y de los residuos generados.
- Características de las emisiones gaseosas y líquidas.
- Destino/gestión de los residuos procedentes de la actividad productiva.
- Naturaleza de los combustibles utilizados y forma de almacenamiento.

d) Identificación de zonas diferenciadas por su uso

En este apartado es importante diferenciar como zonas distintas aquellas

que hayan tenido usos distintos en el pasado, aunque actualmente constituyan una única zona de proceso. Sin embargo, independientemente de la distribución de las diferentes instalaciones, puede ser de utilidad la identificación de aquellas zonas que han soportado actividades similares desde el punto de vista de una posible afección al suelo. Por ejemplo:

- Secciones de las instalaciones productivas.
- Zona de talleres.
- Zonas de almacenamiento (materias primas, productos y residuos).
- Zona de subestaciones eléctricas.
- Zona de escombrera de residuos.
- Zona de oficinas, laboratorio, etc.
- Parque de expediciones.

e) Incidentes/Accidentes

- Fugas, escapes, roturas, derrames de tuberías, de depósitos, de cubas, ... como consecuencia de fisuras en las paredes, en las soleras, etc.
- Zonas de almacenamiento temporal.
- Paradas forzadas de producción por limpieza, revisión o accidente.
- Accidentes durante el periodo de actividad
- Denuncias
- Afecciones esporádicas. Por ejemplo, las lluvias torrenciales de 1.983.

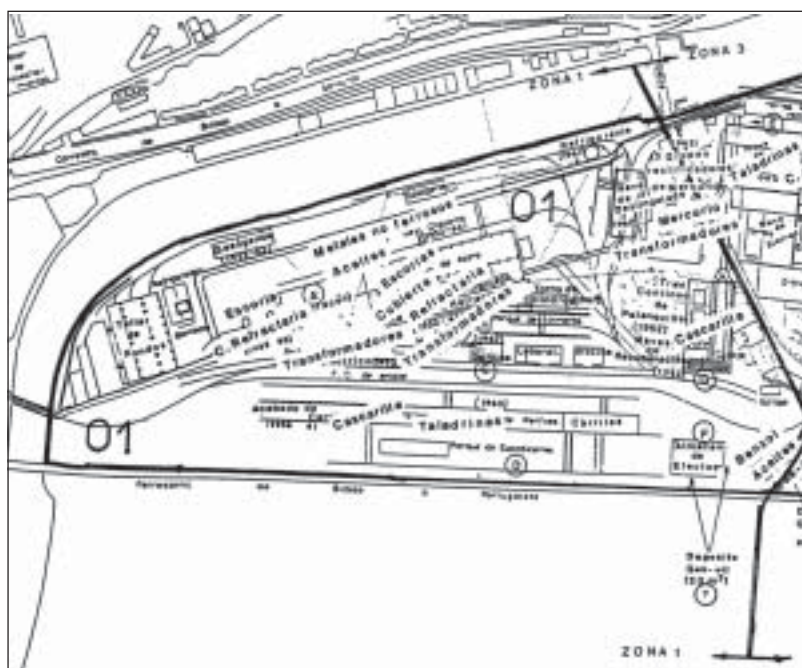
Finalmente y como resultado del análisis de la información obtenida en los apartados anteriores se procede a obtener una interrelación entre las distintas zonas y procesos productivos y la problemática que se puede asociar a los mismos. Así se podrían obtener como documentos resultantes:

- Cuadro resumen de procesos productivos, residuos por zonas y contaminantes asociados.
- Plano resumen de localización de puntos y zonas potencialmente contaminadas.

Cuadro 1. Ejemplo de cuadro-resumen de procesos productivos, residuos y contaminantes asociados

Secciones	Actividad	Productos	Materias Primas	Residuos/ Subproductos	Contaminantes asociados
1	Hornos altos	Arrabio líquido Cock	Mineral de hierro	Escorias Polvos de acería	Metales pesados PAH's
2	Laminación	Palanquilla Placas Perfiles Etc.	Lingotes de hierro	Aceites Chatarras Cascarilla	Aceite mineral Metales
3	Taller de galvanizado	Piezas acabadas	Productos de laminación	Baños agotados Aceites y grasas Lodos	Aceite mineral Metales BTEX, EOX Sulfato
4	Transformadores	—	—	Aceites minerales	PCB's Aceite mineral
5	Baterías de cock	Cock	Carbón	Alquitranes Breas Aguas amoniacales Lodos cálcicos	PAH's Aceites minerales Cianuros BTEX, Fenoles Amoniac
6	Depósitos combustible	—	—	Hidrocarburos	Hidrocarburos

Mapa 2. Ejemplo de plano de localización de los puntos y zonas potencialmente contaminadas



2.2.2. VERTEDEROS Y PUNTOS DE VERTIDO

El número de vertederos inventariados en la Comunidad Autónoma del País Vasco, más de 600, apuntan ya la necesidad de otorgar a este tipo de emplazamientos una consideración especial. La existencia de un vertedero o punto de vertido indica ya de por sí un indicio racional a considerar a la hora de una posible reutilización de su superficie. Junto a lo que se ha dado en denominar “*ruinas industriales*”, los vertederos son uno de los tipos de emplazamientos potencialmente contaminados sobre el que existe una mayor cantidad de información debido fundamentalmente a los inventarios realizados.

Sin embargo, cuando se afronta la investigación de la calidad del suelo en vertederos o puntos de vertido resulta imprescindible ahondar en mayor grado en el estudio histórico con objeto de obtener datos relacionados con el volumen y la naturaleza de los residuos vertidos, la cronología de las deposiciones, y otros aspectos que permitirán centrar el objetivo de las siguientes etapas de investigación.

A pesar de que, desde el punto de vista del estudio histórico, la mayor diferencia con los solares industriales anteriormente tratados se encuentra en las fuentes de información a las que ha de recurrirse, también pueden distinguirse algunos elementos específicos a considerar para este tipo de emplazamientos.

Los elementos esenciales del estudio histórico para el caso de los vertederos rellenos de residuos o puntos de vertido son los siguientes:

a) Antecedentes generales

- Ubicación geográfica.
- Superficie.
- Usos anteriores del solar y de zonas adyacentes.
- Propietarios/Usuarios del solar, anteriores y actuales.
- Permisos/Licencias de vertido/relleno.
- Actuaciones administrativas (denuncias, análisis químicos de inspecciones, etc.)
- Posibles medidas correctoras existentes en el vertedero.



*Foto 1. Fotografía aérea de eje vertical. Junio 1983. Escala 1:7.000.
Diputación Foral de Bizkaia*

b) Historial cronológico del terreno

- Periodos de vertido de los diferentes tipos de residuos.
- Naturaleza, composición química, toxicidad, cantidades y procedencia de los residuos que se presumen vertidos.
- Empresas cercanas al vertedero posibles usuarias del mismo.
- Transportistas de los residuos depositados.

c) Identificación de zonas diferenciadas

- Diferenciación de zonas en base a los diferentes tipos de residuos vertidos. (Existirán zonas donde se produzca una mezcla de residuos y no pueda subdividirse el emplazamiento por zonas diferenciadas).
- Diferenciación de zonas por el modo de vertido (a granel, en sacos, ...) de un mismo residuo.
- Diferenciación de zonas por el uso previsto del suelo.

d) Sucesos relevantes

- Incidentes (incendios, corrimientos, emanaciones de gases, explosiones, etc.).
- Posibles accidentes ocurridos en el vertedero.

Al igual que en el caso de los emplazamientos industriales, una vez recopilada la información anteriormente mencionada se debe obtener una interrelación entre las distintas zonas de vertido y la problemática y determinación asociada a las mismas. Como documentos de síntesis del estudio histórico se puede proponer la elaboración de:

- Plano resumen de localización de zonas diferenciadas.
- Evolución temporal del vertido.

2.3. FUENTES DE INFORMACIÓN DEL ESTUDIO HISTÓRICO

Para cada caso de suelo que se investiga en relación a su posible contaminación ha de priorizarse desde un inicio las fuentes de información que previsiblemente vayan a resultar más “*productivas*” en cuanto a la calidad de los datos obtenidos y a la relación de estos con el coste y tiempo empleados. A pesar de que no es posible indicar exactamente los pasos a seguir en cada caso concreto, se señalan seguidamente las principales fuentes de información que pueden consultarse en la Comunidad Autónoma del País Vasco para los dos tipos de suelos (emplazamientos industriales y vertederos) que en mayor medida se investigan. Esta relación de fuentes se ha extraído del análisis detallado de todos los estudios históricos realizados en el ámbito de la investiga-

ción de suelos sospechosos de estar contaminados y de la experiencia concreta en la realización del *Inventario de Emplazamientos con Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo*.

Junto a esta información se presenta más adelante una tabla en la que se valora diferentes aspectos de estas fuentes. (Ver apartado 2.5)

2.3.1. EMPLAZAMIENTOS INDUSTRIALES

1. Inventario de Emplazamientos con Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo

El *Inventario de Suelos con Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo* constituye la primera fuente a consultar en cualquier investigación de la calidad del suelo. Junto a datos básicos sobre el emplazamiento y las actividades que sobre él se han desarrollado, contiene un listado de las fuentes de información más relevantes y de los expedientes municipales asociados a las diferentes actividades.

2. Catastr o

Esta fuente de información es muy útil para los casos en los que se conoce la dirección exacta de suelos industriales abandonados y sin uso, pero no se conoce al propietario del mismo. Además de la identidad de/los propietario/s también es posible obtener planos de ubicación del emplazamiento.

3. Registr o de la Pr opiedad

El Registro de la Propiedad proporciona la descripción del terreno de estudio, así como su delimitación geográfica una vez conocido el propietario y la dirección exacta del emplazamiento objeto de estudio.

4. Registr o Mer cantil

Partiendo del conocimiento de la razón social de la empresa, en el Registro Mercantil pueden obtenerse los estatutos de constitución de la sociedad mercantil, incluyendo su objeto, domicilio y duración, datos sobre el capital social, compra-venta de acciones, fusiones, absorciones, información sobre el consejo de administración, cargo de gerente, etc.

También se facilita información sobre cambios o ampliaciones del objeto social, sobre cambios de domicilio social, cambios en la gerencia, etc. Estos datos pueden resultar posteriormente útiles en la búsqueda de posibles interlocutores para entrevistas en la asignación de responsabilidades para la recuperación del solar.

5. Cámara de Comercio y Navegación

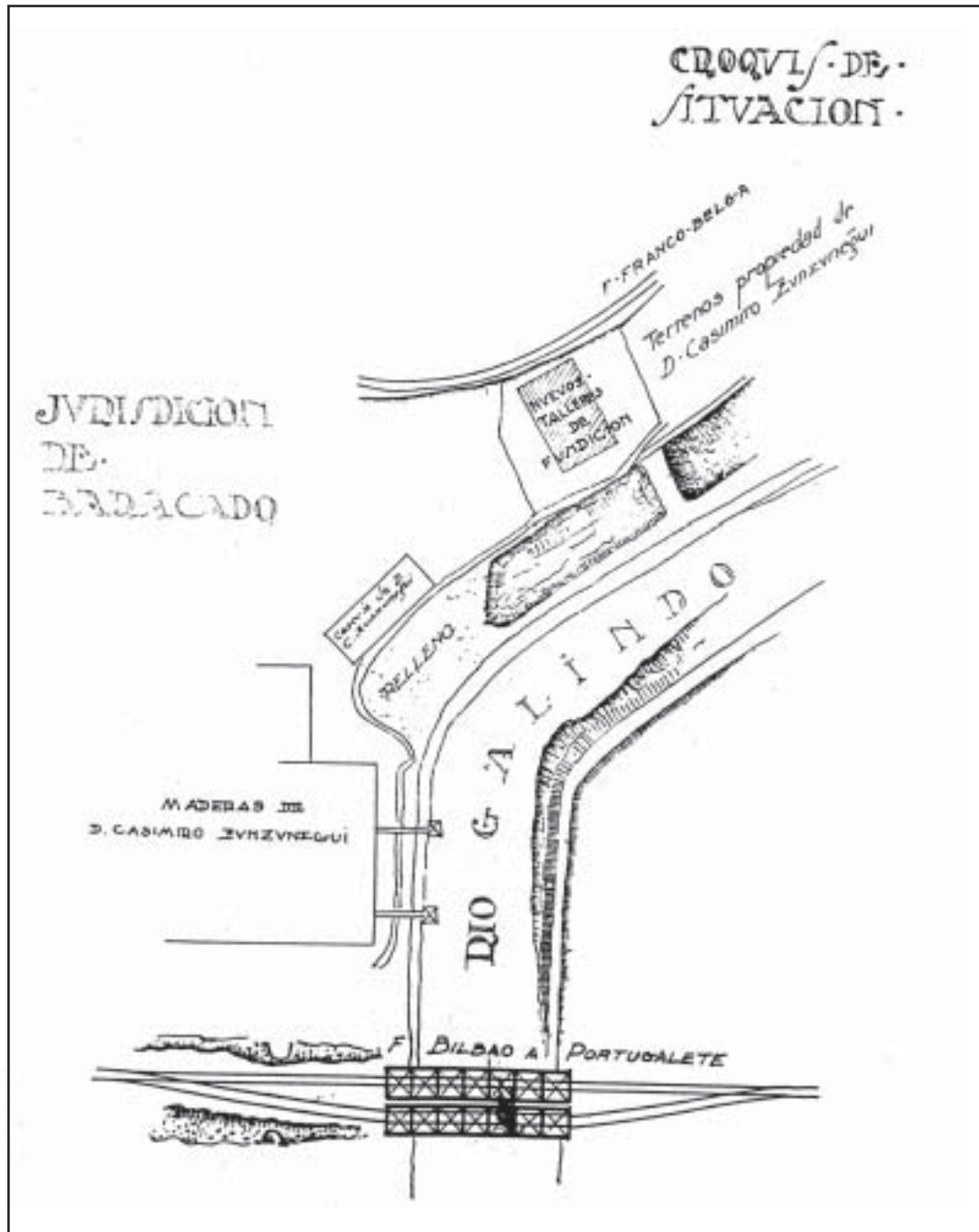
Puede encontrarse diversa información general tanto histórica como actual y ayudar a precisar los periodos en los cuales las actividades analizadas se encontraban activas. Existen numerosos catálogos industriales, generales y por sectores que datan, los más antiguos de principios de este siglo.

Una vez obtenida esta información básica de las cuatro fuentes anteriores ya se puede proceder a la búsqueda de información más detallada sobre el emplazamiento industrial objeto del estudio histórico.

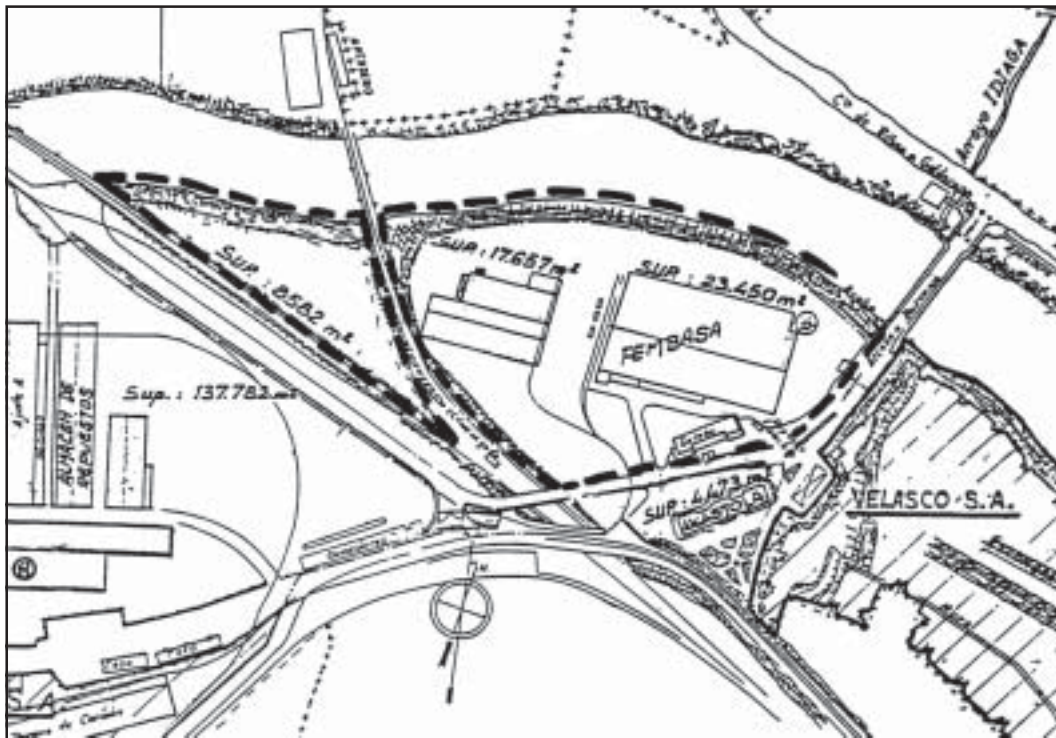
6. Archivos municipales

Una de las fuentes imprescindibles de consulta para obtener datos en este tipo de terrenos se encuentra en los archivos municipales. Pueden encontrarse en estos archivos planos actuales e históricos, documentos administrativos importantes para su análisis, como por ejemplo las licencias de actividad y de obra, denuncias existentes, etc. (Plano 1 y 2).

Plano 1. Ejemplo de plano de emplazamiento. Año 1915. Fuente: Archivo municipal



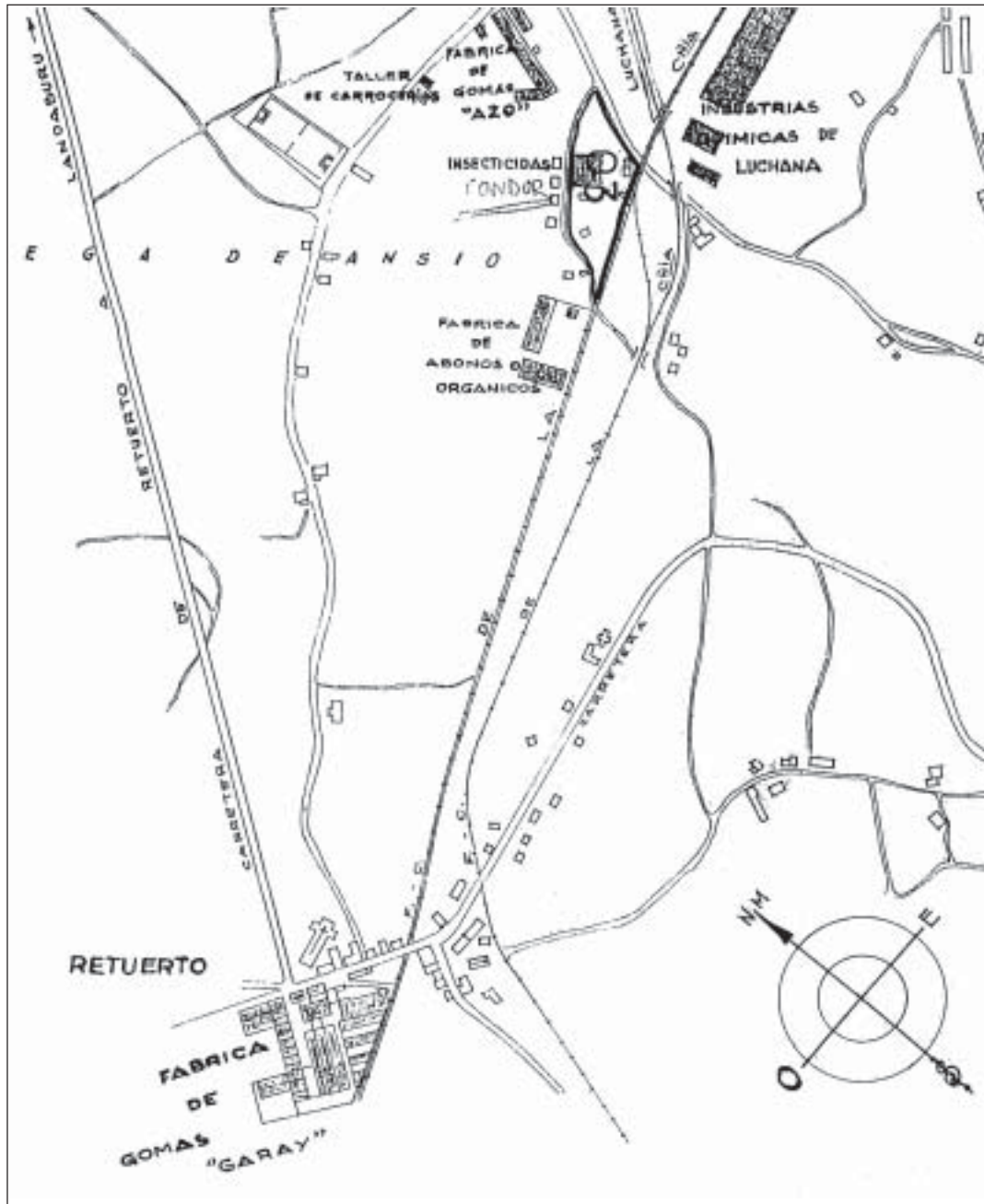
Plano 2. Ejemplo de plano general de la zona. Año 1990. Fuente: Archivo municipal



7. Registro industrial

El Registro industrial constituye también una fuente de información esencial para el estudio histórico de emplazamientos industriales. Recoge los datos históricos y actuales completos y detallados relativos a las actividades productivas desarrolladas por la empresa a lo largo de su historia. Proporciona en concreto datos sobre los diferentes procesos productivos utilizados, materias primas, productos fabricados, etc., todo ello con planos de ubicación en planta, a diferentes escalas, de las modificaciones realizadas en el tiempo (Plano 3).

Mapa 3. Mapa histórico general. Año 1948. Escala 1:5000. Fuente: Archivo Municipal



8. Inventario de ruinas industriales

El *Estudio-inventario de ruinas industriales* realizado en 1.992 por el Departamento de Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco y actualizado en 1.997, constituye una fuente de partida a considerar en el estudio histórico de un emplazamiento industrial. La existencia de una ruina industrial inventariada en el emplazamiento objeto de estudio, deberá dirigir la atención hacia una posible reutilización a medio-corto plazo y consecuentemente a una demolición de las estructuras edificadas existentes. La realización de un estudio histórico previo a la demolición permitirá un desarrollo del mismo con unos resultados mucho mejores en relación calidad y coste-tiempo de la obtención de la información.

Este trabajo aporta datos sobre ubicación, propietario, superficie, estado de conservación, situación urbanística, tipo de actividad, fotografías, etc.

9. Servicio cartográficos

Las fotografías aéreas y terrestres tomadas a lo largo del tiempo y mapas de distintas épocas, que pueden encontrarse en estos servicios cartográficos a disposición del público, constituyen en ocasiones una importante fuente de información relativa a la evolución temporal del uso del suelo en estudio. Asimismo, proporcionan en ocasiones, cuando el origen de la contaminación es visible, indicios relevantes sobre la localización de los posibles focos de contaminación.

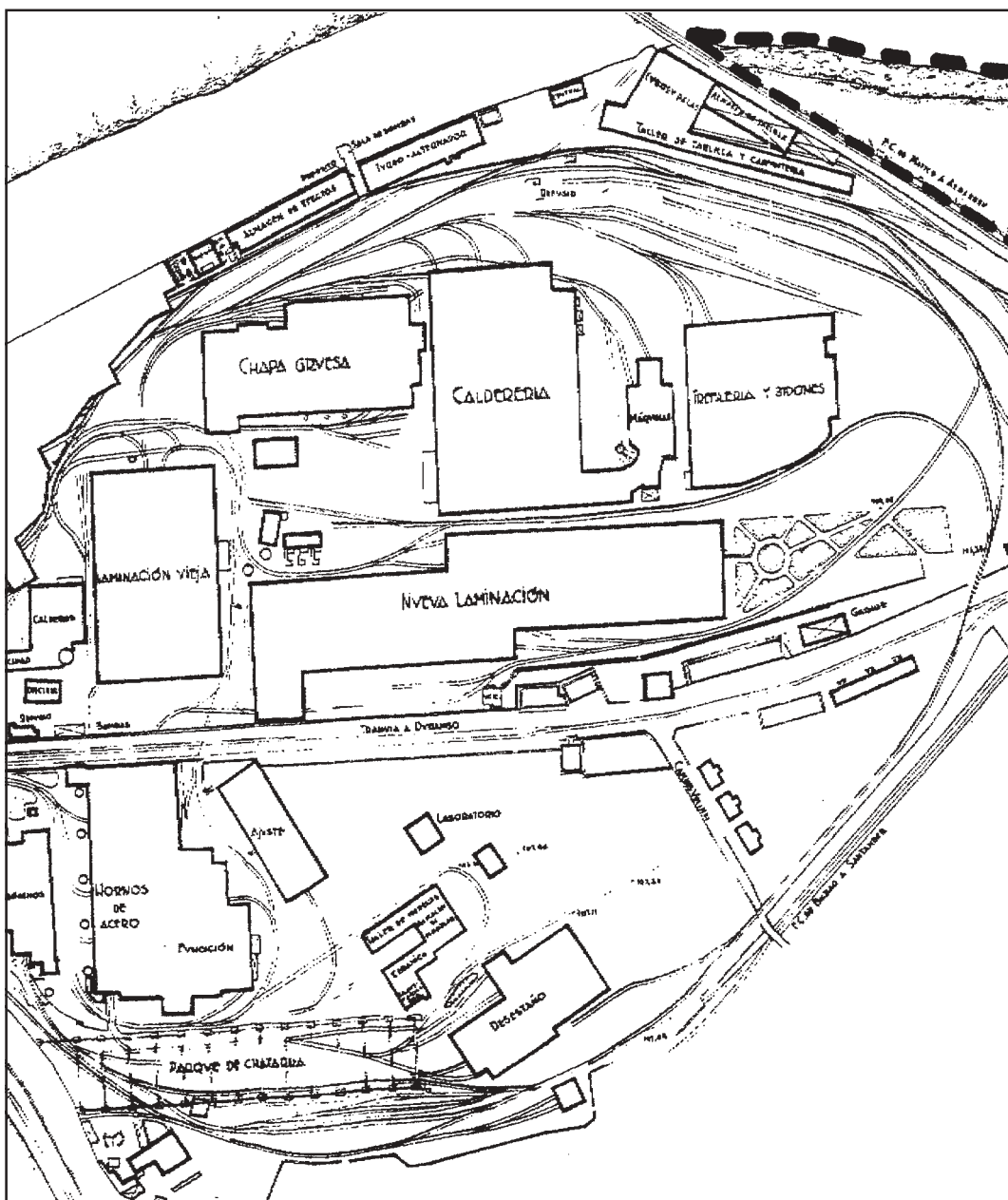
10. Hemeroteca

La revisión de bibliografía histórica en torno a temas como por ejemplo arqueología industrial, desarrollo histórico industrial, etc., junto a periódicos, revistas especializadas y fotografías históricas pueden aportar en ocasiones datos sobre procesos productivos, instalaciones, sucesos relevantes (accidentes, vertidos, etc.) que pueden ser de interés en un estudio histórico.

11. Documentación propia de la empresa

En ocasiones puede comenzarse la investigación del emplazamiento antes de proceder a la demolición de las instalaciones. En estos casos, lo mismo que cuando la empresa sigue activa en otra ubicación, localizar la información disponible en los archivos de la propia empresa (documentos, licencias, planos, incidentes, etc.) resulta de gran valor para la investigación del emplazamiento.

Plano 3. Ejemplo de distribución en planta de los procesos productivos. 1940. Fuente: Registro Industrial



12. Entrevistas directas

Finalmente, una gran cantidad de información valiosa sobre procesos, gestión de residuos, incidentes y otros detalles concretos en ocasiones no documentados pueden obtenerse a través de entrevistas o conversaciones con antiguos trabajadores o vecinos que hayan conocido la evolución de las actividades o de los terrenos objeto de estudio.

2.3.2. VERTEDEROS Y PUNTOS DE VERTIDO

1. Inventario de Emplazamientos con Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo

El *Inventario de Suelos con Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo* constituye la primera fuente a consultar en cualquier investigación de la calidad del suelo. Junto a datos básicos sobre el emplazamiento y las actividades que sobre él se han desarrollado, contiene un listado de las fuentes de información más relevantes y de los expedientes municipales asociados a las diferentes actividades.

2. Catastro

Al igual que se ha comentado para solares industriales esta fuente de información aporta datos sobre el propietario del terreno partiendo del conocimiento de la ubicación exacta del vertedero.

3. Registro de la Propiedad

En el Registro de la Propiedad pueden obtenerse datos sobre la descripción del terreno y su delimitación geográfica una vez conocido el propietario y dirección del solar.

4. Registro Industrial

En caso de conocer la procedencia de los residuos vertidos, esta fuente puede aportar datos sobre las características de los mismos analizando la actividad productiva origen de los residuos.

5. Inventario y censos de vertederos existentes

El *Inventario de Localización y Caracterización de Vertederos de la C.A.P.V.* realizado en 1989 por la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno Vasco y actualizado en 1991, constituye una fuente de partida esencial para el estudio histórico de un vertedero. Ofrece datos sobre ubicación, morfología, superficie, afección a ríos, reportaje fotográfico, etc.

Por otra parte, se han elaborado censos locales más específicos (municipales, mancomunales) que revisan, complementan y actualizan el inventario general.

6. Fotografías multitemporales (aéreas o terrestres)

Mediante el análisis de todo tipo de fotografías de diferentes cortes temporales puede observarse la morfología primaria del vertedero, el uso anterior a los vertidos y las diferentes fases de evolución del vertedero, pudiéndose en ocasiones identificar el tipo de residuos (Fotografía 2).



Fotografía 2. Fotografía aérea de eje vertical. Vuelo julio 1990. Escala 1:18.000

7. Documentación administrativa

Distintos órganos administrativos disponen de documentos cuya valoración ofrece datos relevantes para el estudio histórico tales como denuncias, permisos, licencias, resultados de inspecciones, estudios anteriores existentes sobre el emplazamiento, etc.

8. Hemeroteca

La revisión de periódicos, revistas especializadas y fotografías históricas puede aportar datos sobre sucesos relevantes en relación al vertedero (explosiones, contaminación aguas subterráneas o superficiales, emanaciones de gases, etc.).

9. Entrevistas directas

Esta fuente de información es considerada fundamental en todo estudio histórico para el caso de vertederos o puntos de vertido. Posibles interlocutores pueden ser: vecinos de zonas colindantes al emplazamiento, trabajadores (antiguos o actuales) de las empresas que han depositado sus residuos, transportistas de estas empresas, técnicos municipales o personas mayores del municipio conocedores del terreno objeto del vertido, etc.

2.4. UN CASO PARTICULAR: TANQUES DE ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO

Los tanques de almacenamiento subterráneo constituyen, dentro de las instalaciones potencialmente contaminantes, un caso de especial relevancia debido, en primer lugar, a la naturaleza de las sustancias que contienen habitualmente y en segundo lugar, a la frecuencia con la que estos tanques han sufrido fugas que han dado lugar a la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas. La abundancia de este tipo de instalaciones, tanto en estaciones de servicio como en emplazamientos industriales, justifica que se les dedique un apartado específico.

En relación al contenido del estudio histórico en suelos sospechosos de estar afectados por fugas o derrames de tanques de almacenamiento subterráneo, pueden indicarse los siguientes aspectos como los más relevantes:

a) Antecedentes generales

- Ubicación geográfica.
- Superficie del emplazamiento.
- Actividad o uso que utiliza o utilizó esta instalación.
- Inicio de la actividad.
- Propietarios actuales y pasados del emplazamiento que ubica la instalación.
- Estado de actividad de las instalaciones en la actualidad (inactivo, ruinas, solares, etc.).

b) Descripción del emplazamiento

- Descripción de los elementos de la actividad que hace uso de la instalación.
- Localización y fecha de instalación de tanques, aparatos surtidores, canalizaciones, tuberías, etc.
- Localización y fechas de instalación de las conducciones subterráneas (agua potable, pluviales, fecales, electricidad, gas natural).

c) Descripción de los tanques subterráneos

- Capacidad/contenido del tanque de almacenamiento subterráneo.
- Situación de utilización del tanque subterráneo (lleno, vacío, capacidad utilizada, activo, inactivo, etc.).
- Características de las sustancias almacenadas.
- Fecha y descripción de las reformas efectuadas en tanques, tuberías, aparatos surtidores, etc.
- Material de construcción de los tanques, revestimientos, etc.
- Características del asentamiento de los tanques (sobre el terreno, en cubeto, etc.).

d) Incidentes/Accidentes/Inspecciones

- Fugas, roturas, derrames, etc.
- Denuncias de olores, de hidrocarburos en el agua, etc.
- Inspecciones, pruebas periódicas de estanqueidad de combustibles y carburantes, etc.

Finalmente, es necesario señalar que las fuentes de información más relevantes para el estudio histórico de emplazamientos en los que se sospecha la presencia de tanques de almacenamiento subterráneo son, fundamentalmente, las Delegaciones Territoriales del Departamento de Industria y Energía del Gobierno Vasco, y las entrevistas directas con vecinos, técnicos de los ayuntamientos y responsables de los tanques.

2.5. RESUMEN Y VALORACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Fuente de información	Direcciones	Contenido de la información	Accesibilidad	Tiempo empleado en la consulta	Coste	Observaciones
1. Catastro	- Samaniego 14. 01008 Vitoria-Gasteiz - Camino Capuchinos 2-4 48013 Bilbao - Avda. Libertad 17-19-5º 20004 Donostia	<ul style="list-style-type: none"> • Con la dirección se obtiene el nombre del propietario. • Posible plano de ubicación 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin dificultad cuando se dispone de la dirección exacta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si no hay problemas de localización de la información, 30 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicio gratuito 	<ul style="list-style-type: none"> • Básica para conocer el propietario de emplazamientos industriales y vertederos
2. Registro de la Propiedad	- Gral. Alava 10 01005 Vitoria-Gasteiz - Avda. Madariaga 24 48014 Bilbao - Catalina de Erauso 16-18 20010 Donostia - Amezueta 17 20010 Donostia - San Martín 55 20007 Donostia	<ul style="list-style-type: none"> • Con el propietario y dirección se obtiene la descripción del terreno y su delimitación exacta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin dificultad si se conoce la dirección y el propietario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aproximadamente 30 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> • En función de las fotocopias requeridas 	<ul style="list-style-type: none"> • Básica para emplazamientos industriales y vertederos si no se conoce con exactitud la delimitación del terreno a estudio.
3. Registro Mercantil	- Gral. Alava 10 01005 Vitoria-Gasteiz - Avda. Madariaga 24 48014 Bilbao - Pº de Bizkaia 10-bajo 20010 Donostia	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtienen datos sobre la constitución de la sociedad, cambios en la participación, los cargos, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin dificultad si se conoce el nombre originario de la empresa 	<ul style="list-style-type: none"> • Dos a cuatro días 	<ul style="list-style-type: none"> • En función de la cantidad de información requerida. (Aproximadamente entre 5.000 y 10.000 pts.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Básica para emplazamientos industriales si se requiere posibles interlocutores
4. Cámara de Comercio y Navegación	- P. Ramón Mª Lili 6 20002 Donostia - Eduardo Dato 38 01005 Vitoria-Gasteiz - Alda. Rekalde 504 8 0 0 8 Bilbao	<ul style="list-style-type: none"> • Diversa información histórica y actual. Muy general (catálogos industriales generales y por sectores) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin dificultad 	<ul style="list-style-type: none"> • Variable 	<ul style="list-style-type: none"> • En función de la cantidad de información existente y requerida (fotocopias) 	<ul style="list-style-type: none"> • No es básica. Únicamente es útil para emplazamientos industriales. • Válida para obtener antecedentes de la empresa • Información histórica general
5. Archivos municipales	---	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación administrativa sobre licencias de actividad, obra, etc. donde se obtienen datos de proceso productivo, planos de detalle, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin acceso directo al público en general. • Necesario establecer relación previa con el Ayuntamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • En función de la cantidad de información disponible, de la clasificación existente del Archivo y de la informatización o no del mismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variable en función de la cantidad de información existente y requerida (fotocopias) 	<ul style="list-style-type: none"> • Imprescindible para los emplazamientos industriales debido al detalle y calidad de la información

Fuente de información	Direcciones	Contenido de la información	Accesibilidad	Tiempo empleado en la consulta	Coste	Observaciones
6. Registro Industrial	- Archivo General de Industria Duque de Wellington 2 01010 Vitoria-Gasteiz - Avda. Gasteiz 39 01008 Vitoria-Gasteiz - Máximo Aguirre 18 bis-3º 48011 Bilbao - Easo 10 Donostia	• Planos actuales e históricos de distintas escalas 1:2000, 1:500. • Datos sobre planeamiento urbanístico • Fotografía aérea • Obtención de datos históricos y actuales sobre actividades productivas, así como planos de ubicación en planta de modificaciones efectuadas en el tiempo (escala 1:2000, 1:5000)	• Sin acceso directo al público en general de todos los datos • Uso restringido de la información	• Es acceso es directo para los datos de carácter público. En función de la cantidad de información disponible (gran cantidad de datos si la industria es grande y antigua)	• Servicio gratuito	• Imprescindible para emplazamientos industriales y para vertederos si se conoce la empresa productora de los residuos. Datos abundantes y de gran calidad en caso de poder acceder a expedientes completos
7. Servicios cartográficos (fotografías multitemporales)	- Diputación Foral de Araba (Cartografía) Pza. de la Provincia s/n 01010 Vitoria-Gasteiz - Diputación Foral de Bizkaia (Cartografía) Alda. Rekalde 30-5º 48009 Bilbao - FOAT. Rodríguez Arias 51 48011 Bilbao - Diputación Foral de Gipuzkoa (Denda 5000) Pza. Gipuzkoa s/n 20004 Donostia	• Obtención de fotografías aéreas verticales y oblicuas de distintas fechas (Comienzo de los vuelos década de los 50 hasta la actualidad). • Obtención de cartografía diversa	• Sin dificultad aunque no siempre existen fotografías del emplazamiento objeto de interés	• Dos o tres días. • Cartografía al instante	• Precio por fotografía (DIN A4) 3.000 pts. aproximadamente. • Precio por cartografía entre 500-1000 pts. por hoja	• Muy útil en emplazamientos industriales. • Imprescindible para conocer la evolución en los vertederos
8. Documentación propia de la empresa	---	• Obtención de planos históricos, proyectos de ampliación, fotografías de las instalaciones, etc.	• Normalmente gran dificultad por premuras de demolición o por desaparición de los archivos al cesar la actividad	• Dependiente de su disponibilidad	• Sin coste	• Resulta importante para los solares y ruinas industriales

Fuente de información	Direcciones	Contenido de la información	Accesibilidad	Tiempo empleado en la consulta	Coste	Observaciones
9. Inventario y censos de vertederos	- Viceconsejería de Medio Ambiente Duque de Wellington 2 01010 Vitoria-Gasteiz - Municipios y Mancomunidades	• Datos de ubicación, morfología, afecciones, fotografías, etc.	• Necesario obtener autorización previa de consulta	• Corto	• Sin coste	• Básico para los estudios históricos de vertederos
10. Documentación administrativa	- Dpto. de Salud del Gobierno Vasco - Dpto. de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente	• Obtención de licencias, denuncias, resultados de inspecciones, etc.	• En función de los datos existentes	• Una buena investigación en todos los órganos administrativos susceptibles de poseer datos requiere mucho tiempo	• Sin coste	• Importante para los vertederos si carecemos de datos históricos relevantes. • Necesario valorar el tiempo de obtención de los datos
11. Hemeroteca	- Bibliotecas municipales	• Obtención de sucesos relevantes	• Sin dificultad si se conoce fecha aproximada del suceso	• Necesario gran cantidad de tiempo	• En función de la cantidad de información existente y requerida (fotocopias)	• Más relevante para vertederos que para emplazamientos industriales • Necesario en función de resultados esperados
12. Entrevistas directas	---	• Todo tipo de información que pueda corroborar o ampliar datos obtenidos por otras vías.	• En función de la accesibilidad del interlocutor	• En función del número de entrevistas concertadas. • Necesario un mínimo de cuatro horas por persona	• Sin coste	• Fundamental para emplazamientos industriales, y también para vertederos • La información obtenida por este método requiere de contraste. • Buen método para localizar otras posibles fuentes de información

3. DISEÑO DE MUESTREO

3.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo último de la investigación de un suelo potencialmente contaminado es la caracterización y evaluación de los riesgos que la presencia del mismo supone para la salud humana o el medio ambiente. Dicha evaluación delimitará la calificación del suelo en función del uso o usos analizados y determinará, en su caso, las medidas a adoptar para la eliminación o minimización de los riesgos. Las implicaciones de una evaluación errónea, tanto por exceso como por defecto, obligan a realizar un minucioso diseño de la estrategia de investigación en el área de estudio.

Esta investigación está enfocada a la correcta caracterización de los distintos elementos y variables implicados: interesa conocer la naturaleza y extensión de la contaminación e identificar tanto los receptores del riesgo como los factores locales específicos que afectan a la exposición de éstos a la contaminación del suelo. El proceso de análisis de riesgos relaciona ambos elementos, calculando aquellos a partir de la información referente a la caracterización química de la contaminación en el emplazamiento y en base a modelos específicos de exposición para cada uno de los receptores del mismo u objetos de protección.

En la calidad de una caracterización ajustada del grado de contaminación radica el éxito de la investigación de un emplazamiento contaminado. En este sentido es generalizada la idea de que el diseño de la estrategia de muestreo de los diferentes medios y del programa analítico constituye una pieza clave en la calidad de la investigación de un suelo contaminado. La presente guía se centra en los principios que sustentan el diseño de muestreo que, en conjunción con el diseño de la red de control de niveles piezométricos y de la calidad del agua¹ y con el diseño analítico², deben permitir el logro de los objetivos definidos en relación a la caracterización y la “*dispersión*” de la contaminación con un máximo de fiabilidad y rapidez y un mínimo de esfuerzo y costos.

¹ Ver Guía Metodológica de Análisis de Riesgos: Migración y Seguimiento de Contaminantes en el Suelo y en las Aguas Subterráneas.

² Ver Guía Metodológica de Análisis Químico.

3.2. ETAPAS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

La investigación de un suelo contaminado tiene como objetivo fundamental la recopilación de la información necesaria para una correcta determinación de los riesgos asociados a la contaminación presente en el emplazamiento. Un elemento clave de este proceso es la caracterización de la contaminación en el suelo, para lo cual se requiere, en aras de la optimización del resultado, de un diseño de muestreo específico y adecuado al caso de estudio.

Son tres los factores principales que condicionan la estrategia de muestreo:

- 1- Los objetivos de la investigación a realizar.
- 2- La información previa que se dispone sobre el sistema a estudiar.
- 3- El tiempo, dinero y esfuerzos que pueden dedicarse a la investigación.

La importancia del segundo factor en el conjunto, junto con la generalmente baja disponibilidad de recursos, ha determinado que se acepte como más adecuado un esquema de investigación en etapas, en el que la información recabada en la etapa previa constituye la base del diseño de la siguiente. Con objeto de optimizar la investigación, se ha establecido para cada una de las etapas un objetivo concreto, de forma que representen una profundización gradual en el proceso de caracterización y posean al mismo tiempo un carácter dilucidativo.

Las etapas que el esquema de investigación de un emplazamiento con indicios de estar contaminado contempla, son las mostradas anteriormente en la Figura 1:

1. Investigación exploratoria (IE) . El objetivo fundamental de esta fase de investigación es confirmar la existencia de niveles de contaminación que supongan o puedan suponer un riesgo inaceptable para la salud humana y los ecosistemas. Se incluye además dentro de los objetivos de la investigación exploratoria la confirmación de la hipótesis de distribución espacial de la contaminación y la obtención de datos relevantes que permitan el diseño óptimo de la siguiente fase de investigación. En consecuencia pretende:

1. Determinar la presencia de concentraciones de contaminantes que impliquen una contaminación del suelo.

2. Establecer la lista de los contaminantes presentes más relevantes, facilitando para cada uno de ellos valores aproximados de concentración media y de heterogeneidad de reparto espacial y
3. Distinguir subáreas o estratos diferenciables dentro de la zona de estudio.

Dentro de esta etapa de investigación pueden diferenciarse dos tipos de actividades: en primer lugar aquellas dirigidas a recopilar información referente tanto a las actividades desarrolladas en el emplazamiento al objeto de confirmar los indicios existentes de contaminación, como al medio físico con el fin de definir el modelo conceptual inicial para el análisis de riesgos y en segundo lugar, las actividades que implican la toma y el análisis de muestras recogidas en el emplazamiento.

En casos excepcionales, los resultados de la evaluación de la información previa recopilada pueden conducir a la paralización de la investigación y, en consecuencia, a la clasificación del emplazamiento como no sospechoso de estar contaminado cuando no se hayan detectado indicios fundados de una posible afección al suelo. No obstante, en la mayor parte de los casos será necesario recurrir a la toma de muestras y a su análisis para poder obtener resultados concluyentes acerca de la calidad del suelo.

Así, si la concentración de ninguna de las sustancias o grupos de sustancias investigados como posibles contaminantes, supera el nivel de referencia, VIE-A³ el proceso de investigación se da por finalizado. Si por el contrario la concentración de alguna de las sustancias superase este nivel (VIE-A), pero ninguna superase VIE-B, entonces sería necesario implantar las medidas que se considerasen necesarias para evitar que aumentasen las concentraciones de contaminantes, así como para hacer un seguimiento de la evolución de estas concentraciones. En caso de que los resultados de esta fase confirmasen la posibilidad de la existencia de un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente (concentraciones superiores a VIE-B), se procedería a la ejecución de la fase de investigación siguiente.

2. Investigación detallada (ID) . El objeto de esta fase de investigación es el de recabar la información necesaria en cuanto a la caracterización

³ Ver documentos de Calidad del Suelo: Valores indicativos de evaluación. VIE-A; nivel de referencia. VIE-B, para la protección de la salud humana. VIE-B y VIE-C, para la protección de los ecosistemas.

espacial (horizontal y vertical) y temporal de la contaminación, enfatizando en aquella requerida para el análisis de los riesgos presentes y futuros derivados de la contaminación detectada⁴. Dicho análisis constituye la herramienta clave para la toma de decisiones respecto a las actuaciones a realizar en el emplazamiento. Si como resultado del análisis de riesgos se determina la existencia de riesgos inaceptables será necesario llevar a cabo medidas de recuperación. El tipo de medidas a adoptar así como la urgencia de su ejecución será objeto de la evaluación final de los resultados alcanzados en relación a factores de índole socio-económica propios del emplazamiento y a las mejores tecnologías disponibles.

Si como resultado del análisis de riesgos se determina la existencia de riesgos aceptables asimismo será necesario implantar medidas tendentes a controlar el nivel de contaminación, evitar que esta se disperse y minimizar la exposición a la misma de los receptores implicados.

3.3. OBJETIVOS Y ELEMENTOS DEL DISEÑO DE MUESTREO

3.3.1. OBJETIVOS

El objetivo del diseño de muestreo es el de **asegurar la obtención de información relevante de acuerdo a los objetivos de cada fase de investigación con una fiabilidad conocida**. Dicha información se referirá a la existencia y concentración en el emplazamiento de determinados compuestos o elementos químicos y a la localización de las subáreas que puedan delimitarse en función del tipo y grado de contaminación esperado.

La rentabilización de la investigación (coste mínimo con fiabilidad máxima) y la aproximación por etapas, determinan que de los factores implicados en el diseño del muestreo (objetivos, información existente y recursos), la información previa disponible juegue un papel preponderante en la optimización del diseño, y de ahí la necesidad de hacer especial hincapié en la obtención de esta información.

La investigación en etapas propuesta asegura la obtención progresiva de la

⁴ Ver Guía Metodológica de Análisis de Riesgos para la salud Humana y los Ecosistemas y Guía metodológica de Análisis de Riesgos: Migración y Seguimiento de Contaminantes en el Suelo y en las Aguas Subterráneas.

información en que se basa el diseño de muestreo para cada una de las fases, de acuerdo a los objetivos de las mismas:

1. En la fase de **investigación exploratoria** el objetivo del diseño consiste en seleccionar los puntos de muestreo con mayor probabilidad de contaminación. Para ello se cuenta con la evaluación de los resultados de la recopilación previa de información, recopilación basada en tres actividades diferenciadas: el estudio histórico, la visita de campo y el análisis del medio físico, tal y como se ha detallado en la introducción de este documento que proporcionan unos datos esenciales a valorar para la elaboración del diseño de muestreo en esta fase exploratoria.
2. En la fase de **investigación detallada** el objetivo del nuevo diseño de muestreo se centra en realizar un análisis pormenorizado de las zonas señaladas como contaminadas, para lo cual se parte de la evaluación de los resultados obtenidos en la fase exploratoria. Los datos que se tendrán en cuenta a la hora de realizar el diseño, pueden sintetizarse por consiguiente en:
 - distribución de las zonas o subáreas contaminadas
 - naturaleza de la contaminación: resultados analíticos de las muestras tomadas en la fase anterior
 - rutas de dispersión de la contaminación
 - identificación de los receptores del riesgo tanto actuales como futuros en función de los usos previstos.

3.3.2. ELEMENTOS

Son tres los elementos que el diseño de muestreo debe considerar: la localización de los puntos de muestreo, el número de puntos de muestreo y el número de muestras en cada punto de muestreo. Dichos elementos se definirán de acuerdo a los objetivos de la investigación y a la información disponible, siempre siguiendo la norma de máxima fiabilidad a mínimo coste.

Se describen a continuación cada uno de estos elementos (modelos existentes y fiabilidad asociada), mientras en los apartados siguientes se realizarán algunas recomendaciones referidas a cada una de las situaciones tipo reconocidas.

3.3.2.1. Localización de los puntos de muestreo

La localización de los puntos de muestreo (PDM) se apoya fundamentalmente en la información previa existente sobre el sistema o fenómeno a caracterizar, que permite establecer las hipótesis correspondientes relativas a la distribución tanto horizontal como vertical de la contaminación.

El primer aspecto a considerar es la homogeneidad del área de estudio con respecto al objetivo de la investigación. Dicho de otro modo, es necesario evaluar si existen razones naturales, históricas o de otro tipo, en base a la información existente, que aconsejen la delimitación en el área de estudio de subáreas bien diferenciadas. En caso afirmativo el tipo de muestreo sería **estratificado**, mientras que en caso contrario se trataría de un muestreo **simple**.

En segundo lugar debe considerarse la localización de los puntos de muestreo en cada una de las subáreas o «*estratos*» identificados, o bien, en el área total dependiendo de cada caso. Los modelos más frecuentes e importantes de distribución espacial de los PDM sitúan sus coordenadas bien de forma aleatoria, muestreo **al azar**, bien de forma regular, muestreo **sistemático**.

La elección del muestreo al azar implica que la localización de cada PDM dentro del área de estudio no aporta información adicional sobre el sistema o fenómeno a investigar. El muestreo sistemático, sin embargo, supone la existencia de una interrelación entre la localización espacial y la concentración de alguna de las sustancias estudiadas en cada punto de muestreo. Dentro del muestreo sistemático se distinguen a su vez varios tipos:

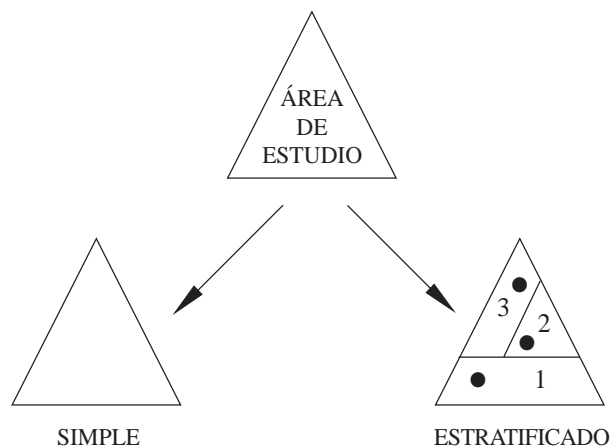
- a) al azar
- b) regular
- c) al tresbolillo o alternado
- d) en gradiente

Los tres primeros situarían los PDM en toda la extensión del área de estudio, mientras el último los situaría a lo largo del gradiente o fuente de variación espacial más importante.

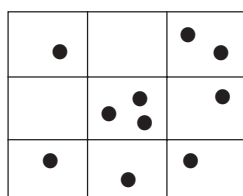
Como ya hemos indicado la distribución de los puntos en el espacio debe considerar tanto el plano horizontal como el vertical, por lo que las consideraciones realizadas deben igualmente aplicarse a la localización en profundidad de los PDM.

En la Figura 2 se indican los modelos de distribución espacial de los puntos de muestreo.

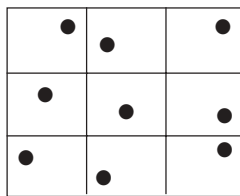
DISTRIBUCIÓN DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO



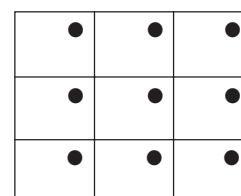
DISTRIBUCIÓN DENTRO DE LAS DIFERENTES ÁREAS O SUBÁREAS



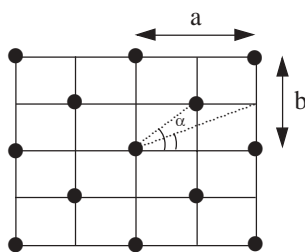
A. Al azar



B. Sistemático al azar



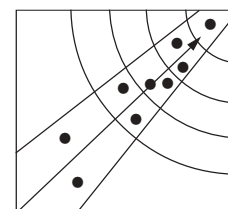
C. Regular o sistemático



D. Sistemático al tresbolillo o alternado

La red se modifica según a:b y α
Por ejemplo:

a:b	α	Tipo de red
a=b	45°	cuadrada
a=b	30°	hexagonal
a≠b	45°	rectangular



D. Sistemático en gradiente

Figura 2. Modelos de distribución espacial de puntos de muestreo

Finalmente, dado que la información previa disponible es el factor más influyente en este aspecto del diseño, hay que ser consciente de la posibilidad de modificar la red de muestreo para cada fase de la investigación, o incluso de modificar la disposición a expensas de los resultados del punto de muestreo precedente dentro de una misma fase de la investigación. Es decir se necesita una aproximación flexible, pero con sólidos fundamentos.

3.3.2.2. Número de puntos de muestreo: densidad de muestreo

El número de puntos de muestreo está determinado fundamentalmente por el objetivo o alcance de la investigación en cada una de las fases. La profundización o exactitud necesaria en la caracterización de la contaminación, medida como la fiabilidad en la estimación de las concentraciones de los contaminantes presentes, es el factor más influyente en la delimitación del número de puntos de muestreo.

A lo anterior se superpone igualmente la información disponible sobre el tipo de distribución de la contaminación en el área de estudio (homogénea o heterogénea), es decir, la representatividad de cada PDM con respecto al área total, que es función del grado de heterogeneidad espacial del objeto de estudio.

La aproximación más lógica es por lo tanto, una aproximación probabilística, por lo menos para la fase de investigación detallada cuyo objetivo es la caracterización exhaustiva de la contaminación en el emplazamiento, aunque pueden presentarse obstáculos de tipo práctico en su ejecución (por ejemplo, porque la fiabilidad exigida requiera de un número de PDM excesivamente elevado).

En la Figura 3 se refleja la interdependencia existente entre número de puntos y la fiabilidad, en relación igualmente al modelo de distribución de puntos de muestreo, para el caso más desfavorable, es decir, cuando se carece de información sobre el patrón de la distribución de la contaminación.

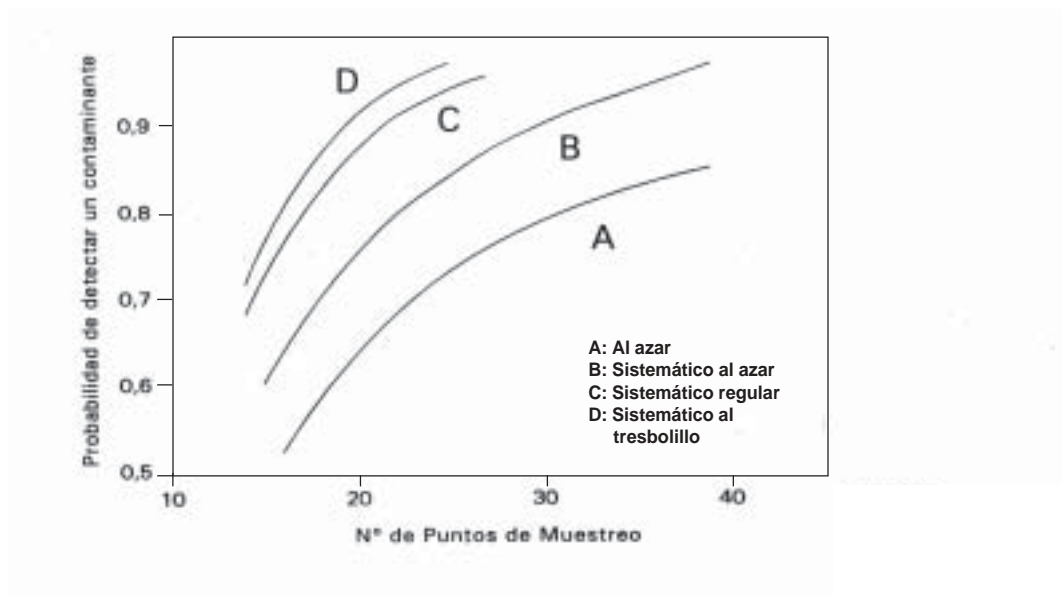


Figura 3. Relación entre el número de PDM y la probabilidad de detectar la presencia de un contaminante cuando se carece de información previa: Influencia del tipo de distribución espacial de los PDM.

3.3.2.3. Número de muestras por punto de muestreo

En la mayoría de los casos, la localización de los PDM se realiza en el plano o mapa correspondiente a la superficie del emplazamiento a estudiar, con lo que la tercera dimensión o profundidad del PDM no queda especificada. Dado que normalmente interesa caracterizar la distribución de la contaminación en un espacio tridimensional, entendidos los PDM como puntos en un plano, a un PDM podrá corresponder en algunos casos más de una muestra, tomadas en la misma vertical a distintas profundidades, en caso de existir o interesar esta estratificación. Sin embargo, conceptualmente estas muestras deben identificarse como PDM seleccionados en relación a las hipótesis formuladas sobre distribución vertical de la contaminación.

3.4. PROCEDIMIENTOS DE ACTUACIÓN SEGÚN LAS FASES DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

En la fase de investigación exploratoria (IE) no se dispone de datos pre-

vios relativos a la concentración de los contaminantes en el emplazamiento por lo que no existe un método teórico de cálculo del número de puntos de muestreo fundamentado en la estadística. Por ello ha sido necesario aceptar unas propuestas razonables elaboradas en base al juicio de los expertos. Así, el número de puntos de muestreo para esta fase de investigación debe calcularse teniendo en cuenta que éste debe ser proporcional al área de estudio, de modo que la probabilidad de encontrar la contaminación no se vea afectada por esta variable.

En la Figura 4 se resume la estrategia en relación al número de puntos de muestreo que se sigue en cada uno de los posibles supuestos que se exponen a continuación.

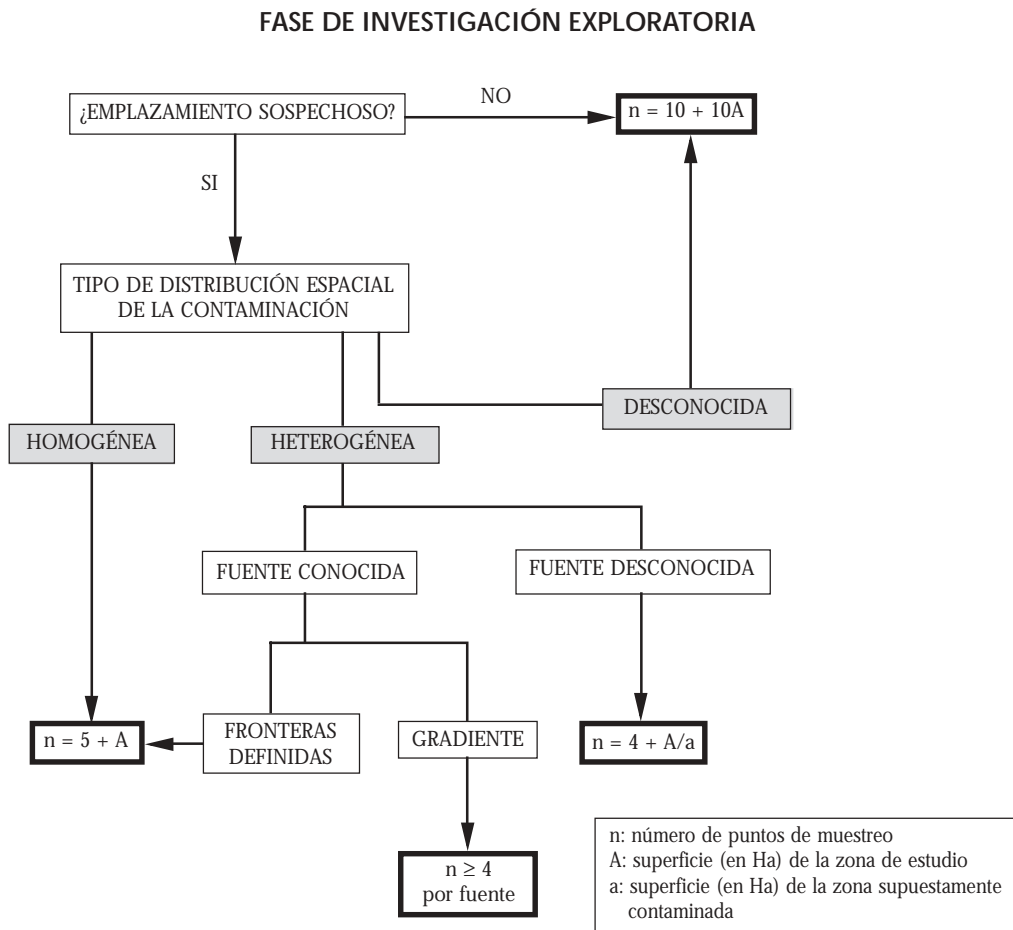


Figura 4. Esquema de procedimiento de determinación del número óptimo de puntos de muestreo para la fase exploratoria

De los resultados de la investigación preliminar pueden derivarse situaciones diferentes que condicionan el tipo de estrategia de muestreo. En función del volumen y de la calidad de la información proporcionada por la investigación preliminar pueden plantearse dos situaciones generales:

1. Que no se disponga de información previa sobre la zona de estudio, (o que ocasionalmente se elija como método de trabajo el ignorar esta información con el fin de contrastar posteriormente los datos obtenidos tras el muestreo y el análisis con los esperados de acuerdo al conocimiento previo).
2. Que se disponga de información sobre las condiciones de la zona de estudio y se decida hacer uso de este conocimiento para establecer las hipótesis de trabajo.

Caso 1: Sin conocimiento previo fiable sobre la zona de estudio

Este es el caso que se plantea cuando la recopilación de información previa ha resultado infructuosa. No obstante, antes de proceder a una investigación sistemática de la totalidad del emplazamiento, y ante el encarecimiento de la investigación que este tipo de estrategia puede suponer, se debe intentar la adquisición de datos que permitan al menos la formulación de una hipótesis inicial de trabajo acerca de la naturaleza de las posibles sustancias contaminantes, las áreas donde la probabilidad de encontrar la contaminación es máxima, etc. Para ello, se propone el uso de técnicas exploratorias alternativas, específicas para cada caso, tales como los métodos geofísicos, magnetométricos, de microsismicidad, de polarización inducida, análisis químico *“in situ”*, análisis del gas del suelo, etc. Cuando la información disponible es escasa o inexistente resulta absolutamente necesario el juicio crítico de un experto, capaz de emitir un informe preliminar experto que sirva como hipótesis de trabajo.

Si a pesar de todo no se pudiera formular una hipótesis aceptable acerca del tipo y modelo de distribución de las sustancias contaminantes, deberá procederse a una investigación sistemática en la que la distribución espacial de los puntos de muestreo se ajuste a una malla triangular al tresbolillo. Para la determinación del número de puntos de muestreo puede ser necesario hacer uso de criterios similares a los empleados cuando la hipótesis de partida es de no presencia de contaminación, ya que este es el caso para el cual el número de puntos de muestreo, y en consecuencia la probabilidad de detectar una posible contaminación del suelo, es mayor. La expresión que permite calcular el número de puntos de muestreo es la siguiente:

$$n = 10 + 10A$$

donde

n: número de PDM.

A: área del emplazamiento en Ha.

Deberá tomarse como mínimo una muestra en cada uno de los puntos de muestreo.

Caso 2: Con conocimiento previo sobre la zona de estudio

Este caso se plantea cuando la recopilación de información previa permite formular para cada emplazamiento investigado alguna de las hipótesis alternativas siguientes:

A. Hipótesis de homogeneidad espacial bien a escala general del emplazamiento, bien a nivel de las subáreas definidas en base a los resultados de la recopilación de la información. Como en el caso anterior (sin conocimiento previo fiable sobre la zona de estudio), la distribución de los puntos de muestreo en el emplazamiento se hará utilizando como base una malla triangular al tresbolillo, siendo calculado el número mínimo de puntos de muestreo con ayuda de la siguiente expresión:

$$n = 5+A$$

donde:

n: número de PDM.

A: área del emplazamiento o zona investigada en Ha.

El número de muestras a tomar será de al menos una por perforación y por estrato sospechoso. En este caso está permitida la preparación y posterior análisis de muestras mixtas, que nunca estarán formadas por más de tres muestras individuales.

Tabla 1. Plan de preparación de muestras mixtas para cada estrato de suelo sospechoso (homogeneidad espacial)

Área del emplazamiento (Ha)	Número de perforaciones	Número de muestras mixtas para cada estrato sospechoso
<1	5	2 (3+2)
1	6	3 (2+2+2)
2	7	3 (3+2+2)
3	8	4 (2+2+2+2)
4	9	4 (3+2+2+2)
5	10	5 (2+2+2+2+2)
6	11	5 (3+2+2+2+2)
-	-	-
-	-	-
-	-	-

B. Hipótesis de heterogeneidad espacial de fuente conocida. Se incluyen dentro de esta hipótesis todos aquellos emplazamientos para los que se conoce con suficiente exactitud la localización de la fuente de contaminación o de la subárea potencialmente contaminada.

La heterogeneidad espacial puede estar ocasionada por las condiciones naturales del área a estudiar o bien por la diversidad de la actividad antrópica. En estos casos, las redes deben orientarse para detectar la máxima heterogeneidad ambiental y las zonas potencialmente afectadas por todo tipo de actividades contaminantes. Ello supone posibles modificaciones en la malla de muestreo, que debe diseñarse según el criterio del experto, y que en general ha de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. La red de muestreo debe ajustarse a las redes de drenaje o a la dirección de los vientos dominantes (si existe sospecha de contaminación por deposición desde la atmósfera) o a cualquier otro fenómeno que pueda dar origen a una dirección preferente en el proceso de contaminación.
- b. Polígonos industriales, instalaciones industriales abandonadas, barrancos, riberas de cauces, márgenes de carreteras y caminos, carreteras abandonadas, zonas apartadas con buena accesibilidad, pozos o explotaciones mineras abandonadas, etc. son zonas que

exigen una especial atención en lo que respecta al diseño de muestreo.

Bajo el supuesto de distribución heterogénea de la contaminación pueden presentarse dos situaciones extremas:

B1. La heterogeneidad de la zona presenta fronteras bien definidas, lo que da lugar a una distribución de la contaminación irregular o en mosaico a lo largo y ancho del emplazamiento. Este tipo de heterogeneidad espacial (por ejemplo: ladera/llanura con límite brusco, borde de cultivo/terreno no cultivado, zona de administración/zonas de proceso o vertidos en un terreno industrial, etc.) precisa, como ya se ha comentado, de un muestreo en subáreas o estratificado (separando estratos, esto es, unidades diferenciables de superficie) y sistemático al tresbolillo dentro de cada estrato. Cada estrato se considera como una subárea homogénea, con lo cual su estudio deberá llevarse a cabo de acuerdo a esta hipótesis de distribución espacial.

B2. La heterogeneidad de la zona presenta áreas de cambio más o menos amplias donde las condiciones varían de forma continua o gradual. Este segundo tipo de heterogeneidad espacial (ejemplo: líneas de máxima pendiente, difusiones a partir de un punto de origen) precisa de un estudio que considere el tipo de gradiente. En este sentido pueden distinguirse dos situaciones:

- * **Gradiente continuo:** En este caso los puntos de muestreo se disponen a lo largo de la dirección de máximo gradiente de concentración de las sustancias contaminantes.
- * **Gradiente con discontinuidades:** Si existen discontinuidades en la dirección del gradiente (tales como un cambio litológico, de nivel freático, o de vegetación...) los puntos de muestreo se colocarán igualmente a lo largo de la dirección de máximo gradiente pero prestando una especial atención a las áreas situadas inmediatamente antes y después de la discontinuidad.

Tanto si el gradiente es continuo como si presenta discontinuidades, el número de puntos de muestreo deberá ser proporcional a la superficie de la subárea contaminada y en cualquier caso, mayor o igual que 4 por cada posible fuente de contaminación. Será necesario tomar al menos, por cada punto de muestreo y por cada estrato sospechoso, una muestra que habrá de ser analizada individualmente. No está permitido bajo ninguna circunstancia la preparación de muestras mixtas.

C. Hipótesis de heterogeneidad espacial de fuente desconocida. En este caso, si bien la información recopilada proporciona datos suficientes como para sospechar la presencia de uno o varios focos de contaminación en el emplazamiento, la información acerca de su localización es imprecisa o inexistente.

La probabilidad de detectar una contaminación de este tipo dependerá de tres factores:

- el número de muestras
- la superficie estimada del área contaminada
- el área total del emplazamiento investigado

Para aumentar esta probabilidad se recomienda dirigir los esfuerzos hacia la realización de una recopilación previa de información exhaustiva en lugar de aumentar el número de puntos de muestreo, ya que de esta forma será posible una mejor delimitación del área de estudio.

Cuando se desconoce la localización de los focos de contaminación (por ejemplo, vertidos incontrolados) resulta necesario, para determinar el número de puntos de muestreo, realizar una estimación de la superficie de éstos.

Pueden distinguirse dos casos bien diferenciados en función del porcentaje que el área del foco contaminante suponga en relación al área total del emplazamiento.

C1. El área estimada de la fuente de contaminación es mayor del 10% de la superficie del emplazamiento investigado.

En este caso, la probabilidad de detectar el foco de contaminación a través de la realización de una campaña de muestreo de una intensidad razonable, puede considerarse aceptable. Los puntos de muestreo deberán distribuirse en el emplazamiento de forma sistemática y su número total dependerá del área relativa de la fuente de contaminación con respecto al área total del emplazamiento, pudiendo ser calculado a través de la expresión:

$$n=4+A/a$$

donde:

n: número de PDM.

A: superficie del emplazamiento, en Ha.

a: superficie estimada de la fuente de contaminación, en Ha.

Si se sospecha la presencia de más de una fuente de contaminación, se tomará para *a* el valor de la menor área considerada. En la Tabla 2 se recoge la probabilidad de no detección de un punto de contaminación de forma elíptica cuando se utiliza una malla rectangular o una malla triangular al tresbolillo, en función del porcentaje de la longitud de los ejes del foco contaminante con respecto al espaciado de la malla. Esta tabla, además de mostrar la mayor idoneidad de la red triangular, proporciona una herramienta útil para el cálculo de la dimensión de la malla de muestreo a partir del establecimiento de la probabilidad aceptable de no detección del punto de contaminación.

Tabla 2. Pr obabilidad de no detección de un punto de contaminación de for ma elíptica

Longitud del eje corto como un porcentaje del espaciado de la malla

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
10%	0.97 0.95									
20%	0.95 0.92	0.88 0.85								
30%	0.92 0.87	0.83 0.78	0.72 0.66							
40%	0.88 0.85	0.75 0.71	0.65 0.55	0.50 0.41						
50%	0.85 0.82	0.69 0.63	0.54 0.44	0.38 0.27	0.21 0.08					
60%	0.80 0.80	0.62 0.58	0.45 0.35	0.27 0.15	0.12 0.03	0.06 0.0				
70%	0.77 0.77	0.56 0.54	0.38 0.29	0.18 0.12	0.07 0.01	0.03 0.0	0.0 0.0			
80%	0.75 0.75	0.54 0.50	0.32 0.23	0.12 0.08	0.05 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0		
90%	0.72 0.72	0.51 0.45	0.30 0.21	0.10 0.06	0.03 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	
100%	0.70 0.66	0.45 0.37	0.24 0.18	0.08 0.04	0.01 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0

L= Longitud del eje largo
S= Longitud del eje corto



Malla rectangular



Malla triangular o al tresbolillo

Esta probabilidad es directamente proporcional al tamaño de punto o mancha de contaminación. El riesgo asumible permite por este método alternativo la elección del número de puntos de muestreo (los nudos de la malla). Se observa que una malla triangular ofrece una probabilidad más baja de perder un punto contaminado para el mismo número de puntos de muestreo (o lo que es lo mismo, de amplitud de paso de malla).

Se recomienda tomar al menos dos muestras por perforación. Se permite la preparación de muestras mixtas siempre y cuando no se mezclen más de tres muestras individuales y cuando no formen parte de una muestra mixta aquellas muestras individuales en las que la contaminación puede ser detectada a través de la percepción sensorial.

Tabla 3: Estrategia de muestreo para la hipótesis de trabajo de distribución heterogénea de fuente desconocida

Superficie del foco de contaminación (Ha)	Superficie del emplazamiento	Número de perforaciones	Número de muestras mezcladas para cada estrato sospechoso
0.1	1	14	5
0.2	1	9	3
0.25	1	8	3
0.25	1.5	10	4
0.2	2	14	5
0.25	2	12	4

C2. El área estimada de la fuente de contaminación es menor del 10% de la superficie del emplazamiento investigado.

Si la contaminación ha sido producida por una sustancia química poco móvil, el número de puntos de muestreo requerido para asegurar una probabilidad razonable de detectar la contaminación será muy elevado. Por ello, se puede proponer realizar la investigación del emplazamiento haciendo uso de métodos alternativos (p.ej. equipo de detección). Si por el contrario, los contaminantes estudiados son móviles es posible intentar su detección en el agua subterránea si en el tiempo transcurrido desde su deposición éstos han podido alcanzar este medio.

3.4.2. INVESTIGACIÓN DETALLADA

Si de los resultados de la investigación exploratoria se concluye que las concentraciones de contaminantes superan bien el Valor Indicativo de Evaluación VIE-B bien VIE-C, debe procederse a una investigación detallada

cuyos objetivos se centran en la caracterización exhaustiva de las áreas contaminadas con el fin de proporcionar los datos necesarios para el posterior análisis de riesgos.

Esta fase de investigación se diferencia, en lo que a muestreo se refiere, de la investigación exploratoria en cuatro aspectos:

- La intensidad del muestreo es mucho mayor y depende de los riesgos asumibles en cada caso.
- Puesto que uno de los objetivos de esta fase de investigación es la delimitación exacta de la extensión de la contaminación, se muestrearán estratos tanto sospechosos como no sospechosos.
- Las exigencias del análisis de riesgos, función de los usos presentes y futuros del emplazamiento, delimitarán asimismo la profundidad del muestreo⁵.
- No se permite en ningún caso la preparación de muestras mixtas o compuestas.

En esta fase de investigación se distinguen únicamente dos situaciones.

A. Distribución homogénea de la contaminación.

B. Distribución heterogénea con fuente de contaminación conocida.

Se ha eliminado el caso de contaminación heterogénea con fuente de contaminación desconocida ya que se supone que la fuente ha sido localizada en la fase de investigación anterior.

A. Distribución homogénea de la contaminación

Una vez confirmada la hipótesis de distribución espacial homogénea de la contaminación en la fase de investigación anterior, el objetivo de la estrategia de muestreo estará dirigido hacia la determinación, con un grado de precisión aceptable, del valor medio de la concentración de la sustancia o sustancias contaminantes en el emplazamiento.

Haciendo uso de los resultados analíticos obtenidos en la fase de investigación anterior, es posible estimar el número de puntos de muestreo necesarios para satisfacer los requerimientos de la investigación detallada, utilizando para ello la siguiente fórmula tomada de la estadística probabilística:

⁵ Ver Guía metodológica de análisis de Riesgos para la salud Humana y los Ecosistemas.

$$n = \frac{t^2}{E^2} \left(\frac{s}{\bar{x}} \right)^2 \quad (A)$$

donde:

n: número de PDM.

t: t de Student.

E: intervalo de confianza asociado a la media muestral.

s: desviación típica muestral.

\bar{x} : valor medio muestral.

En consecuencia, para calcular el número de puntos de muestreo que han de llevarse a efecto en la fase de investigación detallada, deben estimarse previamente, para cada compuesto contaminante que se investigue, los siguientes parámetros:

- a. la media (\bar{x}) y la desviación típica (s) muestrales, calculadas a partir de los datos de concentración obtenidos en el muestreo exploratorio;
- b. los límites de error aceptables (5%, 1%, 0,5% etc.), dependientes del riesgo asumible, que determinan el valor de la t de Student que se tomará de las tablas estadísticas al uso, para m-1 grados de libertad (m = mínimo de muestras analizadas en la fase de investigación exploratoria);
- c. la fracción E de la media muestral, \bar{x} , que marca los límites a ambos lados del intervalo de confianza centrado en, \bar{x} , dentro de los que, con una probabilidad de error igual o menor a la fijada en b, se encuentra el verdadero valor de μ o media poblacional de los valores de concentración de los contaminantes en el área de estudio.

De esta forma se obtienen tantos valores de n como parámetros se estén investigando. El valor de n que debe elegirse será el más alto.

Si para la determinación del número de puntos de muestreo se introduce en la expresión (A) los parámetros calculados a partir de los resultados analíticos fruto de la fase de investigación exploratoria, puede ocurrir que los requerimientos de muestreo sean completamente inviables. Por esta razón, se propone para la resolución de este problema, una aproximación a la determinación de la concentración media de los contaminantes en dos fases.

En una **primera fase** el emplazamiento ha de dividirse en 10 unidades espaciales al menos, cada una de ellas con una superficie de 1.000 m². En

cada una de ellas se realiza una perforación situada al azar dentro de la unidad espacial. Para localizar el punto de muestreo se multiplica la anchura y la largura de la unidad espacial por un número aleatorio, entre 0 y 1, y se sitúa éste en la intersección de las coordenadas definidas de esta forma. De estas 10 perforaciones por hectárea, 6 de ellas son utilizadas para la investigación de los contaminantes cuya presencia ha sido ya confirmada y el resto, 4, para realizar una descripción general del emplazamiento.

Las perforaciones deberán alcanzar al menos una profundidad de 1 m por debajo del estrato contaminado más profundo detectado en la fase de investigación anterior. En esta etapa es necesario tomar una muestra cada 0.5 m o, si es posible distinguir algún tipo de estratificación, una muestra por cada estrato de suelo. Las muestras serán analizadas individualmente.

Con los datos obtenidos en esta etapa se calculará la concentración media (\bar{x}) y la desviación típica (s) para cada contaminante estudiado y para cada estrato muestreado. Será necesario llevar a cabo una segunda etapa dentro de la investigación detallada si:

$$\bar{x} > \text{VIE-B}$$

$$n > 6$$

$$\text{donde: } n = 165 \left(\frac{s}{\bar{x}} \right)^2$$

n es el número total de muestras a tomar (primera etapa + segunda etapa).

Como ya se ha indicado anteriormente, el objetivo de esta primera etapa es determinar la concentración así como hacer una estimación de la dispersión de los resultados para cada estrato. Si la concentración media no puede ser determinada con un grado de precisión aceptable, deberá tomarse una serie de muestras complementarias en una segunda etapa. El criterio para valorar la precisión con la que se ha calculado la concentración media es el siguiente: **el límite de confianza no puede superar el 20% de la concentración media.**

Partiendo de la expresión (A):

$$n = \frac{t^2}{E^2} \left(\frac{s}{\bar{x}} \right)^2 \quad (\text{A})$$

donde:

t = 2.57 (para 6 observaciones y un nivel de confianza del 95%)

E = 0.2 (para un intervalo de confianza del 20%)

se llega, por sustitución de estos valores, a la expresión:

$$n = 165 \left(\frac{s}{\bar{x}} \right)^2$$

Con esta fórmula será posible calcular el número de muestras que deben ser tomadas en una segunda etapa para cumplir el requerimiento de un intervalo de confianza no superior al 20% de la concentración media. Sea cual sea el resultado de los cálculos nunca han de tomarse más de 20 muestras por hectárea y por estrato en la fase de investigación detallada. Aún cuando no se cumpla el criterio exigido, se considerará que 20 muestras son suficientes para proporcionar una estimación aceptable tanto de la concentración media de contaminantes como de la dispersión de los resultados.

En esta segunda etapa de la investigación detallada las perforaciones se realizarán distribuidas homogéneamente en las unidades espaciales, y dentro de cada unidad espacial el punto exacto de muestreo se situará al azar utilizando el método anteriormente descrito. La distribución de los puntos de muestreo corresponderá por lo tanto, en este caso, con una malla sistemática al azar.

La caracterización general del emplazamiento⁶ se llevará a cabo sobre una muestra mixta preparada a partir de 4 de las 10 muestras tomadas en la primera etapa.

B. Distribución heterogénea con fuente de contaminación conocida

En una gran parte de los casos de contaminación del suelo estudiados hasta el momento en la Comunidad Autónoma del País Vasco, la distribución espacial de los compuestos contaminantes se ajusta al tipo de distribución heterogénea para la cual se conoce, en base a los resultados de la investigación exploratoria, la localización exacta de los focos de contaminación. El objetivo de la estrategia de muestreo en la fase de investigación detallada será en estos casos, la caracterización exhaustiva del emplazamiento en lo que se refiere a naturaleza, concentración y extensión de la contaminación, tanto en el plano vertical como en el horizontal, para lo cual será necesario la obtención de un número de muestras que permita la delimitación del contorno de aquellas zonas en las que la concentración de los contaminantes investigados supera bien el valor VIE-B bien VIE-C.

⁶ Ver Guía Metodológica de Análisis Químico

Para conseguir este objetivo, se propone una estrategia de muestreo que partiendo de aquellos puntos en los que ha sido detectada la contaminación en la fase de investigación exploratoria, se desarrolla en círculo desde estos puntos hacia afuera, de forma concéntrica y en etapas sucesivas. En base a la experiencia práctica, se ha considerado como diseño óptimo de muestreo la utilización de una malla de 5 m x 5 m, lo que implica la realización de un único sondeo por cada 25 m². En aquellos casos en los que la extensión de la contaminación es considerable, se permite que la amplitud de la malla de muestreo sea menor en las zonas en la que la contaminación es más grave. En el plano vertical debe tomarse una muestra compuesta por cada metro⁷ de la columna de sondeo, o incluso menos, en el caso de que existiera una clara estratificación.

En el caso que se expone, no se proporciona ninguna expresión matemática que permita el cálculo teórico del número de puntos de muestreo sino que, dada la gran diversidad que presentan las situaciones que se engloban dentro de este epígrafe, se ha considerado más adecuada la utilización del denominado criterio STOP. De acuerdo a este criterio la investigación puede darse por finalizada cuando, en todas las direcciones de la red de muestreo, la concentración de contaminantes en dos muestras sucesivas no supera el valor indicativo de evaluación (VIE-B). En el plano vertical, cuando en las dos muestras más profundas no se detecte contaminación por encima de este nivel, se habrá alcanzado la profundidad máxima de perforación.

En el cuadro 2 se resumen las reglas que permiten muestrear de acuerdo a este criterio.

⁷ Para una distribución espacial heterogénea de la contaminación se recomienda la toma de una muestra por cada metro, en lugar de cada 0.5 m, ya que generalmente, la contaminación heterogéneamente distribuida se dispersa a más profundidad que la contaminación homogénea.

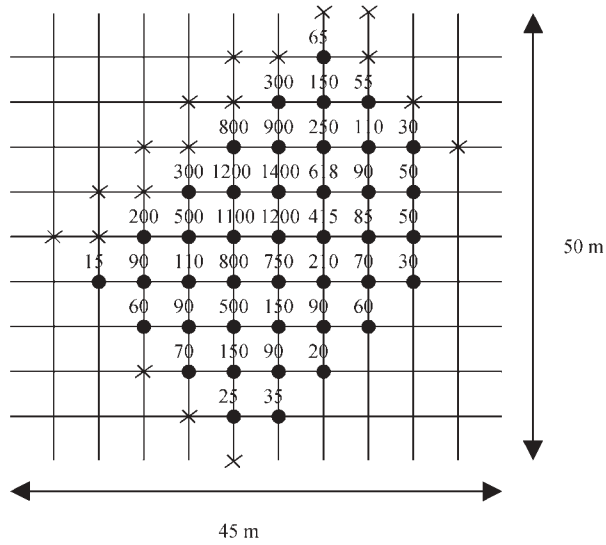
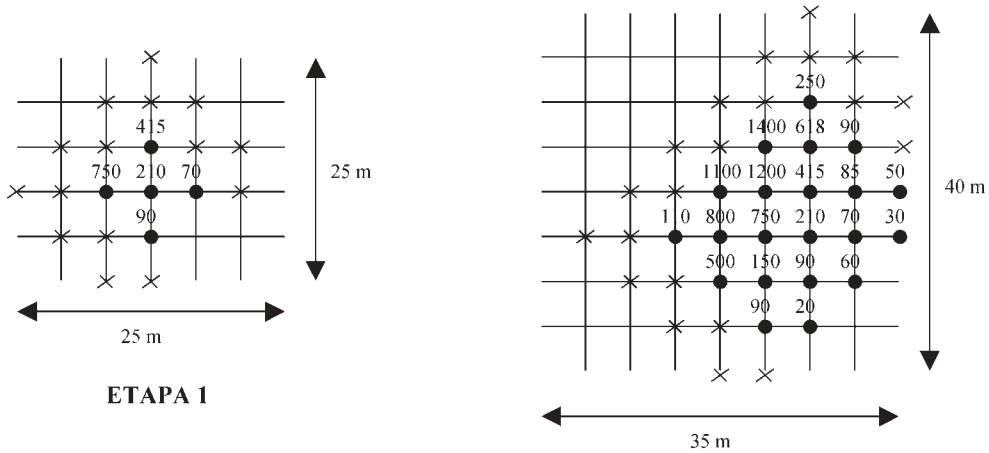
Cuadro 2. Reglas de muestreo de acuerdo al criterio stop

Criterio STOP	<p>En el plano horizontal: finaliza el muestreo cuando desde el centro de la contaminación hacia afuera, se encuentran dos filas de muestras con concentraciones inferiores al nivel VIE-B.</p> <p>En el plano vertical: finaliza el muestreo cuando se encuentran dos muestras de 1 m de profundidad cada una con concentraciones inferiores al nivel VIE-B.</p>
Reglas de muestreo	
Plano horizontal:	<p>En círculo: alrededor de los puntos de muestreo en los que se detectó contaminación en la fase de investigación exploratoria.</p> <p>En línea dentro de la malla: si la concentración en un punto supera el nivel VIE-B, se muestrearán, en la dirección de la malla, los dos puntos de intersección siguientes. Si no se supera el nivel VIE-B se muestreará un único punto.</p> <p>En las diagonales: cuando la concentración en una muestra supere el nivel VIE-B, se muestrearán las intersecciones de la malla, más próximas en diagonal.</p>
Plano vertical	<p>Cada perforación debe extenderse hasta que dos muestras consecutivas, de 1 m de profundidad, presenten concentraciones inferiores al nivel VIE-B.</p>

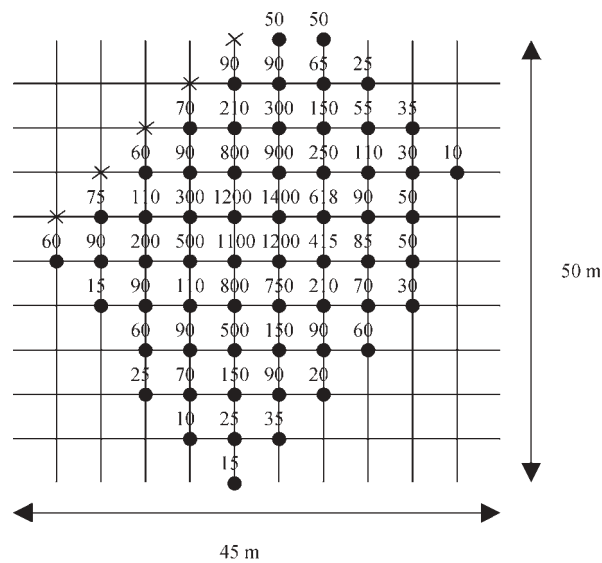
En la Figura 5 se presenta un ejemplo de como afrontar el diseño de muestreo en un emplazamiento en el que la contaminación se distribuye heterogéneamente, partiendo de los datos obtenidos en la fase de investigación exploratoria.

Al igual que ocurre en el caso de que la contaminación se encuentre homogéneamente distribuida, en el caso de contaminación heterogénea, junto a la caracterización exhaustiva de la zona alterada, será necesario llevar a cabo una descripción general del suelo que se realizará sobre una muestra mixta preparada a partir de 10 muestras tomadas en estratos de 0.5 m y en unidades espaciales de 1.000 m².

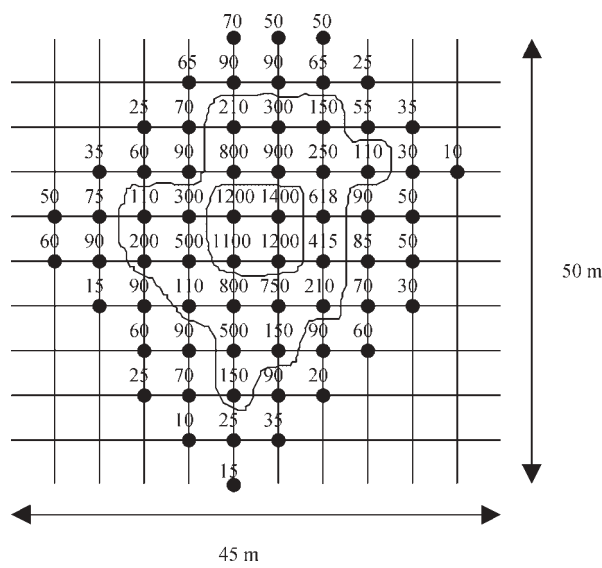
VIE-B = 100 mg Kg⁻¹



● punto muestreado
 ✕ punto a muestrear



ETAPA 4



ETAPA 5

Figura 5. Ejemplo de estrategia de muestreo por etapas en la fase de investigación detallada

3.4.3. TRATAMIENTO DE DATOS Y RESULTADOS

Los datos obtenidos en el estudio deben reflejarse en mapas, donde se señalen puntos o áreas calientes y gradientes. Con este objeto se elaborará la cartografía siguiente:

1. Mapa de localización de los puntos de muestreo, con indicación de las

coordenadas espaciales.

2. Mapa de las concentraciones de cada sustancia estudiada en cada punto. Si hubiera varias muestras por punto, se indicarán los criterios por los que se han separado (distribución vertical, por lo general) y los valores de concentración de los contaminantes en cada una de ellas.
3. Sobre estos datos, se debe hacer un cálculo de interpolación de valores de concentración (por algún método que considere la correlación espacial, como el de kriging, por ejemplo), de modo que se presenten modelos predictivos de los valores de concentración de cada sustancia en cada punto (muestreado o no) asociado con unos límites de error conocidos.
4. Mapa de delimitación de áreas por líneas de isoconcentración, trazadas en base a los modelos construidos en el punto anterior.

3.4.4. SÍNTESIS

En el cuadro 3, y en la Tabla 4 se recogen a modo de síntesis, los procedimientos de actuación en cada una de las fases de investigación.

Cuadro 3. Comparación de métodos de trabajo según etapas y objetivos

Objetivos	Método de trabajo					
	Crit. Experto (sólo)	Aleatorio	Sistemático	Sist. Tresbolillo	Estratificado	Transecto
Confirmar hipótesis de contaminación	1	4	2a	3	3	2
Identificar fuentes	1	4	2a	1	2	3
Delimitar la extensión de la contaminación	4 ó 1	3	1b	1	3	1
Evaluar actuaciones y tratamientos	3	3	2	1	1	2
Confirmar la limpieza	4	1c	1	1	3	1

1. Método de elección preferente

2. Método aceptable

3. Método válido, pero no tan aceptable

4. Método no aceptable o no válido

a. Debe utilizarse con métodos analíticos generales de campo, que permiten obtener rápidamente un gran número de datos.

b. Sólo utilizable cuando se conocen las tendencias.

c. Para confirmación estadística del éxito de la recuperación en todo el área.

Tabla 4. Número de puntos de muestreo, número de muestras y número de muestras a analizar en relación a la hipótesis de distribución espacial de la contaminación y a las fases de investigación.

Fase de investigación	Número de puntos de muestreo	Número de muestras	Número de muestras analizadas
Contaminación homogéneamente distribuida			
Cifras por 10.000 m ² Sospecha de contaminación hasta 3 m de profundidad			
I.E.	6	6	2-3
I.D.	6-20	6-20	36-120
Distribución heterogénea con fuente de contaminación conocida			
Cifras por foco contaminante Sospecha de contaminación hasta 3 m de profundidad			
I.E.	≤ 4	≤ 4	≤ 4
I.D.	≤ 12	≤ 60	≤ 60
Distribución heterogénea con fuente de contaminación desconocida (10%)			
Cifras por foco contaminante Sospecha de contaminación hasta 3 m de profundidad			
I.E.	14	28	10
I.D.	no aplicable	no aplicable	no aplicable

3.5. BIBLIOGRAFÍA

- * Beckett, P.H.T. & R. Webster. 1971. Soil variability: a Review. *Soils and Fertilizers*, vol.34, nº1, pp.1-15.
- * Bosman, R. Soil Contamination, En: Arendt, F., G.J. Annokkee, R. Bosman & W.J. van der Brink Eds., *Contaminated Soil'93*, Kluwer Academic Publishers. pp. 587-597.
- * Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. John Wiley & Sons, Inc. 512 pp.
- * Cormack, R.M. & J.K. Ord, Eds. 1979. *Spatial and temporal Analysis in Ecology*. International Co-operative Publishing House. 356 pp.
- * Edelman, T. 1983. *Investigación sobre los valores de referencia de sustancia inorgánicas y orgánicas en suelos naturales de los Países Bajos*. Reeks Bodembescherming 34.
- * EPA. 1989. *Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standars*. Vol.1. Soils and Solid Media.
- * Ferguson, C.C. 1993. Sampling strategy guidelines for contaminated land. En: Arendt, F., G.J. Annokkee, R. Bosman & W.J. van der Brink Eds., *Contaminated Soil'93*, Kluwer Academic Publishers. pp.599-608.
- * Fundación Gómez-Pardo, 1993, Madrid. *Jornadas de contaminación y depuración de suelos*.
- * Gleit, A. 1985. Estimation for small normal data sets with detection limits. *Environ. Sci. Technol*, Vol.19, Nº12, pp.1201-1206.
- * Green, R.H. 1979. *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*. John Wiley and Sons. 253 pp.
- * Keith, L.H. Ed. 1988. *Principles of Environmental Sampling*. ACS Professional Reference Book. American Chemical Society.
- * Lamé, F.P.J. & Bosman, R. 1992. Oriënterend onderzoek naar de aard, concentratie en plaats van voorkomen van bodemverontreiniging. TNO-report; R 92/112. 60 pp.
- * Lamé, F.P.J. & Broman, R. 1992. Nader onderzoek naar de aard, concentratie en omvang van bodemverontreiniging. TNO-report; R 92-113. 83 pp.

- * Nederlands Normalisatie-Instituut. 1991. *Soil: Investigation strategy for exploratory survey*. NVN 5740. 46 pp.
- * TNO. 1992. *Sampling strategies for unsuspected sites: first concept*. 32 pp.
- * TNO-SCMO (auteur: Vermeer, A.C. 1993. *Investigation strategies for suspected sites (draft-part)*. TNO-Studiecentrum voor Milieu-onderzoek. 41 pp. (Incompleto)
- * Van Tooren, C.F. & T.C. Haas, 1993. A site investigation strategy using moving window kriging and automated semivariogram modelling. En: Arendt, F., G.J. Annokkee, R. Bosman & W.J. van der Brink Eds. *Contaminated Soil'93*, Kluwer Academic Publishers. pp.609-622.

ANEXO I: FICHA DE TOMA DE DATOS

FICHA DE CAMPO

SUELO EN ESTUDIO

INVESTIGADOR

1.- DATOS IDENTIFICACION

CODIGO SUELO		CODIGO DE SUELO	
DIRECCION			
LOCALIDAD		SUP.APROX.(m ²)	

2.- VISITA

FECHA		HORA	
METEOROLOGIA			

ACCESIBILIDAD NO DIFICIL FACIL OBSERVACIONES

USO ACTUAL

3.- ESTADO EDIFICACIONES (SOLO PARA LAS RUINAS INDUSTRIALES) Nota: Adjuntar plano o croquis de disposición en planta

ESTADO CONSERVACION BUENO RUINA PARCIAL RUINA TOTAL

AGRIETAMIENTO ESTRUCTURA NULO LOCALIZADO GENERALIZADO

OBSERVACIONES (Corrosión cimientos, coloración paredes, medidas recomendadas para la demolición o desguace...)

4.- EXISTENCIA DE RESIDUOS (SOLO PARA VERTEDEROS) Nota: Adjuntar plano de ubicación

	RESIDUO	PROCEDENCIA DEL RESIDUO	AÑO INICIO	AÑO FIN
1				
2				
3				
4				
5				

OBSERVACIONES (Permisos, zonas diferenciadas, accidentes...)

5.- CANALIZACIONES Y DESAGÜES

ESTADO CONSERVACION BUENO DETERIORO LEVE DETERIORO GRAVE

FICHA DE CAMPO

SUELO EN ESTUDIO

6.- MAQUINARIA ABANDONADA (ternos, bombas hidráulicas, transformadores,...)

	TIPO	DIMENSIONES		CONTENIDO MAQUINARIA
		<8m	>8m GRUA	
1				
2				
3				
4				

7.- RESIDUOS Y OTROS MATERIALES ABANDONADOS

	RESIDUO MATERIAL				PROPIEDADES FÍSICAS				MODO ACUMULACION				LUGAR ACUMULACION		CANTIDAD	AÑO INSTAL
	ESTADO		COLOR		OLOR		ESTADO DEPOSITO		LIB		SUB		NAVE			
	SOL	LIQUIDO	NO	UNIF	MAN	NO	DEB	FUER	SUB	AER	BUEN	DET	LEV	DET		
1																
2																
3																
4																

FICHA DE CAMPO

SUELO EN ESTUDIO

8.- ESTADO DEL SUELO

TEXTURA

ARENOSA		ARCILLOSA		OTRA	
---------	--	-----------	--	------	--

PAVIMENTACION

NULA		PARCIAL		TOTAL	
BALDOSA		ASFALTO		CEMENTO	

PRESENCIA AGUJEROS/GRIETAS

NULA		ESCASA		ABUNDANTE	
RECIENTES		ANTIGUAS			

COLOR

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
UNIFORME		MANCHAS			

OLOR

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
DEBIL		FUERTE			

VAPORES Y HUMOS

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
ESCASOS		INTENSOS			

POLVO SUPERFICIAL

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
------	--	------------	--	--------------	--

9.- RUTAS DE AFECCION

PRESENCIA PERSONAS

NO		SI	
----	--	----	--

PRESENCIA ANIMALES

NULA		BAJA (1-5)		MEDIA (6-20)		ALTA (>20)	
G. EQUINO		ANIM. CORRAL		G. OVINO		G. VACUNO	

VEGETACION

NULA		LOCALIZADA		GENERALIZADA	
NO ALTERADA		ALTERADA			

10.- PRESENCIA ACUMULOS DE AGUA

	EXTENSION			OLOR				COLOR			
	<1m ²	1-10m ²	>10m ²	NUL	LOC	GEN	FUERTE	DEBIL	NULO	LOCALIZADO	GENERALIZADO
1											
	DESCRIPCION								DESCRIPCION		
2											
	DESCRIPCION								DESCRIPCION		
3											
	DESCRIPCION								DESCRIPCION		
4											
	DESCRIPCION								DESCRIPCION		

11.- PRESENCIA OTROS ELEMENTOS EXTRAÑOS

	NATURALEZA	CANTIDAD
1		
2		
3		
4		

FICHA DE CAMPO

SUELO COLINDANTE

CODIGO SUELO

USO DEL SUELO (ESPECIFICAR)

12.- RUTAS DE AFECION INDICAR EL SUELO EN PLANO DE LA ZONA

PRESENCIA PERSONAS NO SI OBSERVACIONES

PRESENCIA ANIMALES

NULA	BAJA (1-5)	MEDIA (6-20)	ALTA (>20)
G. EQUINO	ANIM. CORRAL	G. OVINO	G. VACUNO

VEGETACION

NULA	LOCALIZADA	GENERALIZADA
NO ALTERADA	ALTERADA	

IMPACTO VISUAL BAJO MEDIO ALTO

13.- ALTERACION PROPIEDADES SUELO

PRESENCIA AGUJEROS/GRIETAS

NULA	ESCASA	ABUNDANTE
RECIENTES	ANTIGUAS	

COLOR

NULO	LOCALIZADO	GENERALIZADO
UNIFORME	MANCHAS	

DESCRIPCION

OLOR

NULO	LOCALIZADO	GENERALIZADO
DEBIL	FUERTE	

DESCRIPCION

VAPORES Y HUMOS

NULO	LOCALIZADO	GENERALIZADO
ESCASOS	INTENSOS	

DESCRIPCION

POLVO SUPERFICIAL

NULO	LOCALIZADO	GENERALIZADO
------	------------	--------------

COLOR

AFECION CAMINOS DE ACCESO

NULA	LOCALIZADA	GENERALIZADA
BAJA	ALTA	

DESCRIPCION

14.- AFECION A LAS AGUAS

LAGUNAS

	EXTENSION			OLOR					COLOR				
	<10m ²	10-30m ²	>30m ²	NUL	LOC	GEN	FUERTE	DEBIL	NUL	LOC	GEN	UNIF	MANCHA
1													
	DESCRIPCION								DESCRIPCION				
2													
	DESCRIPCION								DESCRIPCION				
3													
	DESCRIPCION								DESCRIPCION				
4													
	DESCRIPCION								DESCRIPCION				
5													
	DESCRIPCION								DESCRIPCION				

CAUCES COLINDANTES

CAUCE 1

FICHA DE CAMPO

SUELO COLINDANTE

ESTADO LLEGADA

LIMPIO		DEGRADACION BAJA		DEGRADACION ALTA	
--------	--	------------------	--	------------------	--

MANCHAS O ESPUMAS SUPERFICIE

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
------	--	------------	--	--------------	--

COLOR

OLOR

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
DEBIL		FUERTE			

DESCRIPCION

DESAGÜES AL CAUCE

OLOR			CCLOR		
	NULO	DEBIL	FUERTE	NULO	EXISTENTE
1					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	
2					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	

SURGENCIAS Y LIXIVIADOS

OLOR			CCLOR		
	NULO	DEBIL	FUERTE	NULO	EXISTENTE
1					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	
2					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	

CAUCE 2

ESTADO LLEGADA

LIMPIO		DEGRADACION BAJA		DEGRADACION ALTA	
--------	--	------------------	--	------------------	--

MANCHAS O ESPUMAS SUPERFICIE

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
------	--	------------	--	--------------	--

COLOR

OLOR

NULO		LOCALIZADO		GENERALIZADO	
DEBIL		FUERTE			

DESCRIPCION

DESAGÜES AL CAUCE

OLOR			CCLOR		
	NULO	DEBIL	FUERTE	NULO	EXISTENTE
1					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	
2					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	

SURGENCIAS Y LIXIVIADOS

OLOR			CCLOR		
	NULO	DEBIL	FUERTE	NULO	EXISTENTE
1					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	
2					
	DESCRIPCION			DESCRIPCION	

**ANEXO II: NOTAS SOBRE ESTADÍSTICOS Y MÉTODOS
MATEMÁTICOS USADOS PARA LA CARAC-
TERIZACIÓN DE MUESTRAS Y ZONAS**

Notas sobre estadísticos y métodos matemáticos usados para la caracterización de muestras y zonas

Los datos obtenidos de los análisis de las muestras provenientes del área de estudio durante la fase exploratoria deben ser estudiados para determinar el diseño de la red de muestreo en la fase de investigación detallada y para contrastar la bondad y eficacia del diseño sobre el que se está realizando el estudio. Se utilizan los estadísticos de uso habitual: medias y desviaciones típicas, coeficientes de variación y métodos de evaluación de errores o de determinación de límites de confianza. En niveles más avanzados del estudio los datos deben ser cartografiados y se utilizan métodos de modelado que permiten el trazado de líneas de isoconcentración espacial por interpolación, lo que normalmente se hace con uso de ordenador. El método de interpolación recomendable es el de «*kriging*», utilizable cuando hay correlación espacial y que no sólo interpola sino que también proporcionan estimas de los intervalos de confianza asociados. El método exige una distribución log normal de los valores, condición que suelen presentar la mayoría de las variables edáficas naturales, aunque no siempre, y que en grado menor presentan las antropógenas procedentes de vertidos. Debe sospecharse que la distribución no es normal cuando la varianza es mayor que la media, en cuyo caso puede haber distribución agregada detectora de «*anomalías*», como la que produce una concentración puntual alta. Coeficientes de variación mayores del 100% son indicio, también, de curtosis. En estos casos, y siempre si se van a utilizar determinados métodos de análisis estadístico (como correlación o análisis de la varianza, por ejemplo) debe realizarse primero la transformación adecuada en cada caso para normalizar los datos si es posible, o elegirse otros métodos de análisis más adecuados. En estos casos también el ajuste entre los modelos obtenidos por interpolación y la realidad puede ser muy malo.