

CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES PARA LA SALUD - PUESTA A PUNTO DE UN SIG EN DOS DISTRITOS DEL SURESTE DE MADRID

Montserrat Gómez Delgado

Concepción Díaz Castillo

Francisco J. Escobar Martínez

Víctor M. Rodríguez Espinosa

María Jesús Salado García

Fecha de Recepción: Noviembre 2005

Fecha de Aceptación: Marzo 2006

montserrat.gomez@uah.es

Departamento de Geografía - UAH

Calle Colegios 2

28801 Alcalá de Henares, España

www.geogra.uah.es

RESUMEN

El presente artículo recoge los resultados obtenidos en el proyecto de Investigación "Análisis espacial de riesgos ambientales para la salud. Proyecto piloto de aplicación de herramientas SIG en salud pública. (Desarrollo en el área sanitaria 1, para apoyo al Plan de Vallecas)", financiado por el Instituto de Salud Pública (ISP) de la Comunidad de Madrid y llevado a cabo por personal del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá (UAH) en colaboración con el mencionado Instituto.

El principal objetivo del proyecto consistió en explorar las posibilidades de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para el diagnóstico y seguimiento de las condiciones ambientales que afectan a la salud de la población.

En la metodología adoptada primó el carácter multidisciplinar y la participación activa tanto de los miembros del equipo del ISP como del Departamento de Geografía de la UAH. La definición de criterios (en relación a datos necesarios, fuentes, estándares, estimaciones, etc.), como las labores de búsqueda y recogida de información se realizaron de forma conjunta. Los datos recopilados fueron depurados por el equipo del Departamento de Geografía y posteriormente georreferenciados e integrados en el programa ArcView 8. Una vez montada la base de datos, se pudo proceder a la realización de la primera fase de análisis, donde se des-

tacan tanto elementos vulnerables (población y equipamientos) como zonas sujetas a la exposición de diferentes riesgos potenciales considerados.

Los resultados presentados muestran: el contenido de las distintas capas de la base de datos digital georreferenciada, la cartografía de síntesis generada a partir de los análisis realizados y las tablas estadísticas derivadas de los mismos.

Uno de los valores fundamentales del proyecto es, precisamente, esa base de datos completa y actualizada generada sobre el área de estudio que ha permitido el cálculo de áreas, instalaciones y personas sujetas a la exposición de fuentes potenciales de riesgo. Estos cálculos han constituido la base para la realización del diagnóstico, objetivo primero de este proyecto.

No obstante, lo más interesante de la labor realizada es que el SIG implementado no está autolimitado a su utilización para la realización de tal diagnóstico, sino que permite la explotación de la información recogida desde ángulos diversos, tanto desde el planeamiento como desde la gestión y el seguimiento. Los ejemplos incluyen: localización, patrones de distribución, tendencias (análisis de cambios), rutas óptimas, asignación de áreas a centros de servicios, modelos y simulaciones.

Palabras Clave:

SIG, Riesgo ambiental, Salud, Riesgo, Vulnerabilidad, Servicios, Puente de Vallecas, Vallecas Villa

ABSTRACT

This paper presents results obtained from the project "Spatial analysis for health environmental risk. GIS in health applications pilot project (Madrid Health Area 1 in support of the Vallecas Plan)", funded by the Public Health Institute (ISP) of the Madrid State Government and carried out by research staff in the Department of Geography at the University of Alcalá (UAH).

The main objective consisted in exploring GIS possibilities as a diagnosis and monitoring tool for the environmental factors impacting on population health.

The methodology adopted stood out for its multidisciplinary character and the active participation of both staff from the ISP and the UAH. Both establishment of criteria and information search and collection were carried out in a collaborative manner. Collected data was deputed and integrated in a GIS environment (ArcView 8) by the UAH team. Once the database was structured, it allowed for a preliminary phase of analysis in relation to both the vulnerable elements (population and services) and the areas under exposition to considered risk potential factors.

Results show: the content of the multiple layers included in the spatially referenced database, synthetic cartography showing the analysis undertaken, and statistic tables produced after such analysis.

An important contribution of the project is the complete and up to date database that allows for estimation of services and people exposed to potential risk sources. These estimations constitute the basis for the diagnose, primary objective of the project. Nevertheless, the most interesting aspect lies in the fact that the implemented GIS is non self-limited to diagnose-related tasks but allows for the utilization of the integrated information from diverse angles, including land planning and management, and monitoring. Examples include: location studies, distribution patterns, trends (change analysis), optimal routing applications, allocation analysis, modeling and simulations.

Keywords:

GIS, Environmental Risk, Health, Risk, Vulnerability, Services, Puente de Vallecas, Vallecas Villa.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se presentan los resultados de un proyecto de investigación financiado por el Instituto de Salud Pública (ISP) de la Comunidad de Madrid y llevado a cabo en el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá (UAH) en 2004. El principal objetivo del proyecto consistió en la generación de una base de datos espacial que sirviera como experiencia piloto para evaluar las posibilidades de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el ámbito de actuación de los Servicios de Salud Pública, en el control y en la gestión de los riesgos ambientales para la salud de la población.

Los riesgos ambientales para la salud se dan cuando la población y los agentes potencialmente generadores de dichos riesgos concurren en un espacio-tiempo dado. Es eviden-

te, por tanto, que una herramienta capaz de realizar simultáneamente análisis sobre la dimensión espaciotemporal y la dimensión temática de las variables implicadas ofrece nuevas posibilidades de estudio y gestión de tales riesgos.

El aún relativo desconocimiento de las potencialidades de los SIG en el área de la Salud Pública en nuestro país llevó a plantear el presente proyecto como un estudio piloto de cara a la posible puesta en marcha de esta tecnología en el conjunto del ISP de la Comunidad de Madrid. Su objetivo fue, por tanto, "la realización de un diagnóstico territorial de los riesgos ambientales para la salud de la población mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica". El área de estudio en el que se desarrolló el proyecto está constituida por los distritos madrileños de Puente de Vallecas y Villa de Vallecas. La elección de dichos distritos estuvo basada en las históricas condiciones de desigualdad

ambiental que sufren y en los objetivos del llamado Plan Vallecas¹ del gobierno regional.

Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid (www.madrid.org/iestadis).

2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se adoptó una metodología en la que primó el carácter multidisciplinar y la participación activa tanto de los miembros del equipo del ISP como del Departamento de Geografía de la UAH. La definición de criterios (en relación a datos necesarios, fuentes, estándares, estimaciones, etc.) así como las labores de búsqueda y recogida de información fueron realizadas de forma conjunta. Los datos recopilados fueron depurados por el equipo de la UAH y posteriormente georreferenciados e integrados en el programa ArcView 8. Una vez la base de datos fue montada, pudo procederse a la realización de una primera fase de análisis en donde se destacan tanto los elementos vulnerables (población y equipamientos) como las zonas sujetas a exposición de los diferentes riesgos potenciales considerados. Seguidamente se exponen las principales fases del proyecto:

2.1 Recogida de información e integración en un SIG

Las fuentes de datos utilizadas han sido básicamente las aportadas por el ISP, las existentes en el Departamento de Geografía de la UAH y los datos de población del Censo de 2001, recogidos en la página web del

La creación de la base de datos SIG siguió las fases habituales: georreferenciación de listas de coordenadas o digitalización en pantalla de elementos territoriales de interés sobre una capa base ya georreferenciada (imagen de alta resolución espacial o callejero), homogeneización de formatos vectoriales y temáticos, verificación y corrección de errores, tanto del aspecto espacial como temático de la base de datos. En los siguientes subapartados se describen cada uno de los procesos llevados a cabo para incorporar a la base de datos las distintas variables del estudio, así como un breve comentario sobre la distribución espacial de las mismas. Las capas temáticas que conforman el SIG están estructuradas en cuatro grupos: territorio, fuentes potenciales de riesgo, población y equipamientos vulnerables.

2.1.1 La estructura territorial del área de estudio

El Área Sanitaria 1 (Sur-Este) dibuja una cuña desde los distritos surorientales del municipio de Madrid hasta el límite regional con las provincias de Cuenca y Guadalajara, siguiendo el trazado aproximado de la Autovía de Levante (antigua Nacional III). Dentro ella, los distritos madrileños de Puente de Vallecas y Vallecas Villa ocupan parte de la esquina noroccidental, entre los distritos de Moratalaz y Vicálvaro al norte y los de Usera y Villaverde

¹ Para favorecer el reequilibrio territorial, el gobierno regional madrileño aprueba poner en marcha un Plan de Inversiones para ambos distritos que supondrá la inversión de 18.000 millones de pesetas durante seis años (de 2000 a 2005). Este plan de inversión abarcará aspectos muy diversos (educativos, de juventud, de empleo, de cultura, de medio ambiente, etc.) entre los que está la salud pública.



Mapa 1.- Localización de los distritos Puente de Vallecas y Vallecas Villa en el Área Sanitaria 1 de la Comunidad de Madrid.

al oeste. Entre los dos suman una extensión de más de 66 km² (52'0 km² Villa de Vallecas y 14'9 km² Puente de Vallecas), cerca del 11% del territorio municipal (mapa 1).

En este territorio, especialmente en su sector más suroriental, se incluyen zonas de alto

valor ecológico que ya han sido protegidas por la administración regional, incorporando unas 783 hectáreas del distrito de Villa de Vallecas dentro del Parque Regional de los Cursos Bajos de los ríos Manzanares y Jarama (el conocido como Parque Regional del Sureste). Un entorno sometido a no pocas

	Superficie (km²)	Población 2003	Densidad (hab/km²)
Puente de Vallecas	14'87	234.735	15.785'81
Vallecas Villa	51'47	63.101	1.225'95
TOTAL	66'34	297.836	4.489'54

Tabla 1.- Superficie y población totales en los distritos de Vallecas Villa y de Puente de Vallecas (fuente: Instituto de Estadística de Madrid, 2004)

amenazas derivadas, en gran medida, de su carácter periurbano y de la presión demográfica que en los últimos años está sufriendo el área.

Según la revisión padronal realizada para el 1 de enero de 2003, los distritos de Puente de Vallecas y Villa de Vallecas contaban con una población, en conjunto, cercana a los 300.000 habitantes (297.836 habitantes), algo más del 10% del total de población madrileña. No obstante, como veremos en detalle más adelante, la diferencia entre ambos en cuanto a volumen total y densidad de población es notable.

La Tabla 1 recoge las características generales de los dos distritos que componen el área de estudio.

El distrito de Puente de Vallecas, más al norte, aparece ocupado por superficies urbanas e industriales casi en su totalidad, mientras la población de Villa de Vallecas parece concentrarse en su extremo norte, dejando el sur del distrito prácticamente despoblado.

Por ello, la población del primero se encuentra dividida en seis barrios: Entrevías, San Diego, Numancia, Portazgo, Palomeras Bajas y Palomeras Sureste, mientras la población de Vallecas Villa, menos numerosa, sólo se subdivide en el barrio de Casco Histórico de

Vallecas y Santa Eugenia (en éste último se concentran las mayores densidades de población del área de estudio).

Las orbitales que sucesivamente se han ido construyendo en torno a la capital tienen una impronta decisiva en la estructura territorial y en el paisaje de esta zona: la M-30 dibuja el límite noroccidental del primero de los dos distritos a estudiar, el de Puente de Vallecas, mientras la M-40 es prácticamente la frontera que lo separa de Vallecas Villa. Las más recientes M-45 y M-50, así como otras infraestructuras lineales (gasoductos, oleoductos), ocupan las zonas más despobladas al sureste de éste último.

Desde un punto de vista sanitario, la zonificación sanitaria de la administración regional encuadra a ambos distritos dentro del Área de Salud 1-Sureste (Decreto de la Consejería de Sanidad y Servicios Sociales nº 187/1998 de 5 de noviembre por el que se aprueba la actualización de la Zonificación Sanitaria de la Comunidad de Madrid) como un único distrito sanitario (distrito de Vallecas).

La delimitación de las Áreas de Salud, según la Ley General de Sanidad de 25 de abril de 1986, nº 14/1986 de Jefatura de Estado, atiende a factores demográficos, socioeconómicos, culturales, de dotación de vías y medios de comunicación, etc., y establece que para conseguir una mayor operatividad

Nombre	Contenido	Tipo
Vdgn (hojas)	Topográfico de la Comunidad de Madrid 1:5.000	Analógico
Hidrografia	Hidrografía de la Comunidad de Madrid	Líneas.
Muni2001	Municipios de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Dist2001	Distritos de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Secc2001	Secciones censales de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Enti2001	Entidades de población de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Nucl2001	Núcleos de población de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Sect2001	Sectores de población de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Cpos2001	Códigos postales de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Zbs2001	Áreas y zonas de salud de la Comunidad de Madrid	Polígonos
Callejero2001	Callejero depurado de la Comunidad de Madrid	Líneas.
Appt2001	Portales (situados en edificios) de la Comunidad de Madrid	Puntos
Barrios_v202	Barrios del municipio de Madrid	Polígonos

Tabla 2.- Estructura territorial: capas de la base de datos

y eficacia en el funcionamiento de los servicios, éstas se dividirán a su vez en distritos sanitarios y éstos en zonas básicas de salud.

El Área de Salud 1 de la Comunidad de Madrid se divide en un total de 4 distritos sanitarios (Arganda del Rey, Moratalaz, Retiro y Vallecas) y 26 Zonas Básicas de Salud.

En la Tabla 2 se recogen los detalles referentes a las capas temáticas incluidas en el SIG que caracterizan el territorio de la zona de estudio.

2.1.2 Las fuentes potenciales de riesgo

Las fuentes de riesgo contempladas inicialmente se ampliaron con otras ya recogidas por el Departamento de Geografía en estudios previos sobre una temática similar. El listado finalmente resultante se podría agrupar en las siguientes clases: (1) Industrias, (2) Instalaciones de tratamiento y/o almacenamiento de residuos, (3) Grandes infraestructuras de transporte y comunicación, (4)

Infraestructuras de transporte y distribución de energía y (5) Otras fuentes de riesgo.

La geocodificación y depuración de algunas de estas capas resultó sumamente dificultosa. Tomemos, por ejemplo, el caso de la industria. Una vez examinado el "Directorio de unidades de actividad económica de la Comunidad de Madrid" elaborado por el Instituto de Estadística se comprobó que un 11'53% de los registros carecían de coordenadas o dirección postal útil para georreferenciar. Por otra parte, los códigos de actividad económica (CNAE) no proporcionan datos suficientes sobre la peligrosidad de los productos manejados o de los procesos llevados a cabo en cada empresa. Por ello se optó por trabajar solamente con aquellas industrias que habían sido inspeccionadas por personal especializado del ISP en los distritos de Puente de Vallecas y Villa de Vallecas.

Las industrias inspeccionadas aparecen agrupadas en torno a la vía del ferrocarril (polígonos industriales de Vallecas Sur y La Arboleda, al sur y este de la M-40, e instalaciones en torno a la depuradora de La China, junto al Nudo SuperSur de esta orbital). Además, existen numerosas pequeñas industrias en el interior de los núcleos de población que no han sido consideradas en este estudio como fuentes potenciales de riesgo para la salud de la población (en la capa temática correspondiente encontramos 8.040 instalaciones situadas dentro de los dos distritos).

Es sabido que el sureste del municipio de Madrid alberga numerosas instalaciones de tratamiento y/o almacenamiento de resi-

duos. En el interior o muy cercanas al área de estudio se encuentran: cinco depuradoras de aguas residuales sobre el curso del Manzanares, el complejo de tratamiento de residuos sólidos urbanos de Valdemingómez, una planta de tratamiento de lodos, la escombrera de La Fortuna (al norte del término municipal de Rivas-Vaciamadrid), etc. En muchos de estos casos la instalación se ubica sobre zonas cercanas a la frontera del área sobre la que una determinada instancia administrativa tiene competencias, aunque tal decisión afecte de forma negativa a zonas pobladas de áreas colindantes.

La prensa ha recogido en numerosas ocasiones las quejas de los vecinos del casco histórico de Vallecas y de Santa Eugenia, incluso del vecino municipio de Rivas-Vaciamadrid sobre los malos olores procedentes del complejo de Valdemingómez. Por otro lado, la Fiscalía de Medio Ambiente de Madrid ha denunciado en varias ocasiones deficiencias en el control de emisiones de la incineradora (El País, 3 de julio de 1996; 26 de abril de 1997; 9 de julio de 2001). Ante la última de esas denuncias, el grupo ecologista Greenpeace exigió en julio de 2004 el cierre cautelar de la incineradora (www.greenpeace.org/espana_es/). En noviembre de 2004 distintos grupos ecologistas que trabajan en este entorno del sureste del área metropolitana madrileña se oponen a la construcción de dos plantas de biometanización en el recinto de Valdemingómez, "ya que ocasionarían un aumento de las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, así como los malos olores para la población de la zona" (www.getafedigital.com). Es ésta, por tanto, una instalación a la que en estudios futuros de exposición y vulnerabilidad ante riesgos

tecnológicos habrían de prestar una atención detallada, máxime cuando sobre esta zona, entre la M-45 y la M-50, se planean nuevos desarrollos urbanísticos que sumarán una población semejante a la ciudad de Zaragoza (El País, 20 de marzo de 2002).

Además de las instalaciones en situación legal, el ISP tiene registrados trece puntos de vertido incontrolado en el área de estudio, repartidos en el interior o en las cercanías de los núcleos poblados. Su localización se realiza mediante las coordenadas recogidas sobre el terreno por personal del ISP. Además de su posición, en el trabajo de campo se pudo consignar para cada uno de ellos si entre el vertido existen residuos sanitarios y/o tóxicos y peligrosos.

Finalmente, se han incluido también en este grupo los gestores autorizados de residuos tóxicos y peligrosos. En esta cobertura de puntos están representadas las empresas autorizadas por la Comunidad de Madrid para realizar actividades de tratamiento de este tipo de residuos (pueden consultarse en la siguiente dirección web: http://dgpea2.comadrid.es/areastematicas/residuos/L_Gestion_RP.pdf). Sobre una cobertura anterior existente en el Departamento de Geografía de la UAH (1998) se eliminaron las empresas que no se encontraban ya en funcionamiento, manteniendo las activas (a veces sólo ha cambiado el nombre) y digitalizando en pantalla las nuevas sobre el callejero digital del año 2001. A continuación, se contrastó esta información con el Directorio de Actividades Económicas, intentando completar la información de la capa incluyendo el CNAE de estas empresas; ello fue posible sólo en 18 de

los 31 registros de esta capa. En el interior o en las inmediaciones de los dos distritos estudiados existen tres empresas dedicadas a esta actividad: URBASER (cercano a Valdemingómez), RECITERMIA (en Getafe) y TECNORESIDUOS R3 (en Rivas-Vaciamadrid).

También sobre el todavía relativamente despoblado extremo suroriental del área de estudio, se han construido en los últimos años importantes infraestructuras de transporte (M-45, la M-50, tren de alta velocidad hacia Barcelona), que se unen a las anteriores M-30 y M-40 dibujando trazados paralelos que rodean los dos núcleos de población. Esas vías de alta capacidad han sido consideradas en este estudio como fuentes potenciales de riesgo para la salud por el volumen de tráfico que sobre ellas transita todos los días (y, por tanto, por el volumen de contaminación atmosférica generada) y por el transporte de materiales peligrosos sobre ellas.

En cuanto a las antenas o estaciones base de telefonía móvil, su distribución coincide con la de la población a la que sirven. Llama la atención la total ausencia en la zona de estudio de antenas de la compañía Telefónica, mientras Amena y Vodafone tienen instaladas dentro del área de estudio 64 y 47 antenas, respectivamente). En espera de que se resuelva el debate abierto sobre los posibles efectos en la salud humana de los campos de radiofrecuencia y electromagnéticos, también estos elementos han sido considerados en este estudio como fuentes potenciales de riesgo.

Dentro del grupo infraestructuras de transporte y distribución de energía encontramos tanto elementos lineales como elementos

puntuales. Los primeros (líneas de alta tensión, gasoducto y oleoducto) siguen un trazado paralelo a las orbitales más recientes (M-45 y M-50) y a la línea ferroviaria de alta velocidad, atravesando la zona más despoblada al sureste del casco de Vallecas Villa. Como se verá más adelante, la población potencialmente afectada dentro de los corredores definidos para estos tres tipos de riesgos es pequeña. No obstante, es necesario destacar que un 19% de población del área de estudio reside cerca de líneas de alta tensión.

En cuanto a los elementos puntuales (depósitos de combustible y gasolineras), existen dos grandes depósitos de combustibles y nueve gasolineras en las cercanías del área de estudio; los primeros se encuentran, lógicamente,

más alejados de la población, mientras las estaciones de servicio se ubican en el interior de los núcleos poblados o a lo largo de las carreteras de salida de los mismos.

Por último, se han incluido en un último apartado misceláneo los establecimientos y servicios de plaguicidas y las torres de refrigeración. El manejo de productos químicos en el primer caso y los problemas de legionelosis que de forma recurrente aparecen en torno a las segundas justifican su inclusión en una base de datos de potenciales fuentes de riesgos para la salud de la población.

En la Tabla 3 se recogen las capas temáticas asociadas a las fuentes potenciales de riesgo incluidas en el SIG.

Nombre de la capa	Contenido	Tipo
Directorio	Directorio de unidades económicas de la Comunidad de Madrid (CNAE -93)	Puntos
Ind_inspec_vall	Industrias inspeccionadas por el ISP para Puente de Vallecas y Villa de Vallecas	Puntos
Incineradora	Incineradora de Valdemingómez	Puntos
Verte_valdemin	Vertedero de RSU de Valdemingómez	Polígonos
Verte_incontrol	Vertederos incontrolados de Puente y Villa de Vallecas	Puntos
Depuradoras	Depuradoras de aguas residuales de la Comunidad de Madrid	Puntos
Gestores04	Gestores autorizados de RTP de la Comunidad de Madrid	Puntos
Carret	Carreteras de la Comunidad de Madrid	Líneas
Amena	Estaciones base de Amena	Puntos
Telefonic_movil	Estaciones base de Telefónica Móviles	Puntos
Vodafone	Estaciones base de Vodafone	Puntos
Moviles	Cobertura unificada de las estaciones base de móviles	Puntos
Electri	Líneas eléctricas de alta tensión de la Comunidad de Madrid	Líneas
Gasoduct	Gasoductos de la Comunidad de Madrid	Líneas
Oleoduct	Oleoductos de la Comunidad de Madrid	Líneas
Deposito	Grandes depósitos de combustible de la Comunidad de Madrid	Puntos
Gasolineras	Gasolineras y estaciones de servicio de la Comunidad de Madrid	Puntos
Plaguicidas	Establecimientos y servicios plaguicidas de Puente y Villa de Vallecas	Puntos
Torre refrigeracion	Torres de refrigeración y condensadores evaporíticos de Puente y Villa de Vallecas	Puntos

Tabla 3.- Fuentes potenciales de riesgo: capas de la base de datos

En torno a cada una de estas fuentes potenciales de riesgo se generó un corredor con una anchura proporcional al nivel de peligrosidad supuesto en cada uno de ellos. La Figura 2 muestra las zonas de los dos distritos sujetas a las áreas afectadas por riesgos potenciales (de 0 a 6).

2.1.3 La población

Como se sabe, las especiales características de la población residente en estos dos distritos justifican las inversiones del Plan Vallecas. Los datos demográficos recogidos en la página web del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid y en la del Ayuntamiento de la ciudad nos remiten a un volumen importante de población (casi 300.000 habitantes), más joven que la de

otros distritos capitalinos y que muestra unos indicadores económicos y sociolaborales, sobre todo en el caso de Villa de Vallecas, muy por debajo de la media del municipio. En cuanto a la estructura por edad, la población vallecana muestra esa mayor proporción de jóvenes que el conjunto del municipio de Madrid, sobre todo en Villa de Vallecas.

Puente de Vallecas, más cercano a la capital empieza a recibir población desde etapas más tempranas, mientras Vallecas Villa se incorpora a esa dinámica de crecimiento más tarde. Los desarrollos urbanísticos previstos en la zona (El País, 20 de marzo de 2002), que afectarán sobre todo a este último distrito, acentuarán más, si cabe, esas diferencias.

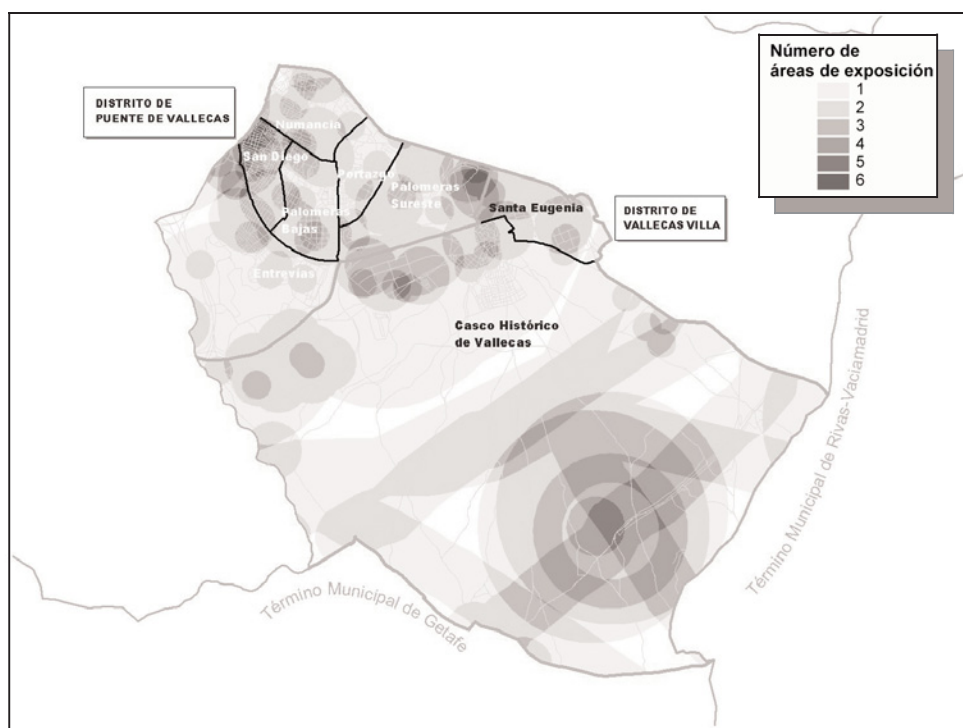


Figura 2.- Número de exposiciones a potenciales fuentes de riesgo (Barrios de Puente de Vallecas y Vallecas Villa)

En cuanto al nivel de estudios de la población es, sobre todo, destacable el menor porcentaje de universitarios en los dos distritos con respecto al comportamiento medio de la población madrileña. En niveles inferiores no puede afirmarse con claridad que el nivel educativo sea menor que la media de los distritos de Madrid.

En la relación de esa población con la actividad económica de la población de 16 y más años solamente destaca el 15'43% de parados en Puente de Vallecas, en relación a la media para esos colectivos en el municipio (12'57%). En concordancia con el comportamiento general del desempleo femenino, este porcentaje es mayor entre las mujeres (16'05%) que entre los varones (14'92%). Por el contrario, el porcentaje de desempleados en Vallecas Villa, tanto hombres como mujeres, se sitúa por debajo del promedio municipal. Por último, la distribución de la población activa según profesión acaba de explicar las diferencias en los niveles de renta.

Una vez hecho este repaso general de las características de la población de los dos distritos que forman parte del área de estudio, presentaremos el proceso por el que se logró integrar en el SIG los datos demográficos que el ISP consideró de mayor relevancia para estimar la vulnerabilidad de la población. La fuente de datos utilizada fue la renovación padronal anual publicada en Padrón Continuo (2003) publicado en la página web del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Una vez descargados los archivos pertinentes en formato Microsoft Excel, se convirtieron a formato DBase (.dbf) para poder editarlos dentro de ArcView 8.x. El siguiente paso fue conectarlos mediante un

identificador común con las capas de polígonos que representan las divisiones administrativas consideradas más idóneas para los fines del trabajo. En este caso se seleccionaron tres niveles jerárquicos de agregación espacial: distritos, barrios y secciones censales. Como se ha mencionado antes, la zonificación sanitaria se basa en distritos y secciones censales; los barrios constituyen una unidad intermedia diseñada sólo para el municipio de Madrid (ver <http://www8.madrid.org/iestadis/fijas/clasificaciones/cozosalu.htm>).

De entre ellas, se optó por el empleo de las secciones censales por resultar, en entornos urbanos como los que manejamos aquí, las unidades de menor extensión superficial y, por tanto, las que nos ofrecían una información espacial más desagregada. Así, descargamos los siguientes archivos del Padrón Continuo (2003). Una vez descargados, se depuraron para obtener los grupos de edad requeridos por el ISP en un archivo que pudiera tratarse en un gestor de bases de datos relacional.

Una vez conectados con la base de datos espacial a través de un campo común (identificador), podrían hacerse mapas de volumen y/o densidad de población para los efectivos totales de cada sección o para los grupos de edad pertinentes. De la misma manera, estos datos por secciones podrían agruparse en unidades administrativas de rango superior (barrios o distritos) mediante operaciones de superposición topológica dentro del SIG.

No obstante, sabemos que la población no se distribuye de forma homogénea dentro de

esas divisiones administrativas. Por ello, y dada la necesidad del presente estudio de aproximarse de la manera más ajustada posible a la distribución real de la población en el espacio, se buscó una solución que permitiera asociar el total de población de cada sección censal a los edificios (portales) existentes en ella, como forma más precisa de ubicar la población residente en el área de estudio. Esa asignación de población total y por edades a los portales se completó tras los siguientes pasos:

- Primero: Utilización de la capa APPS2001.SHP (portales situados en edificios). Esta capa no tiene asociados datos de población; como sabemos, éstos se hallan asociados a los polígonos que representan, por ejemplo, las secciones censales. Una superposición topológica entre ambas capas hace posible conocer

cuántos portales (puntos) existen bajo cada una de las secciones (polígonos).

- Segundo: División de la población total entre el número portales de cada sección nos ofrecería la estimación de la población que habita cada portal. Realizando la misma operación sobre los distintos grupos demográficos de interés en el estudio (varones, mujeres, menores de un año, etc.) obtuvimos la estimación de la distribución en los portales de cada uno de ellos. La figura 3 muestra el resultado de este proceso.

De esta manera fue posible mejorar la asignación de la población aproximándola a los espacios de uso residencial y no hacerlo, por el contrario, a parques, autopistas o sus áreas de servidumbre. Los polígonos industriales recibieron un volumen de población que, aunque escaso, quizá habría que reevaluar.



Figura 3.- Estimación de la población residente por portales

Nombre de la capa	Contenido	Tipo
Secc_sureste	Secciones censales del área sanitaria sureste con población total y por grupos de edad	Polígonos
Apps_sureste	Portales del área sanitaria sureste (con población estimada total y por grupos de edad)	Puntos
Apps_pte_villa	Portales de los distritos de Puente y Villa de Vallecas (con población estimada total y por grupos de edad)	Puntos

Tabla 4.- La población: capas de la base de datos

En definitiva, este tratamiento de los datos sociodemográficos posibilitó una estimación más ajustada de la población residente en el área de influencia de las distintas instalaciones de riesgo. En estudios futuros nos permitiría también diseñar planes de emergencia más realistas o reagrupar espacialmente esos datos de población a conveniencia, sin tener que atenernos a los límites administrativos prefijados (sortearíamos, de esta manera, el conocido como Problema de la Unidad Espacial Modificable, PUEM; Bosque Sendra, 1997, pp. 40 y ss.).

Las capas temáticas referentes a la población incluida en el SIG se presentan en la Tabla 4.

2.1.4 Los equipamientos vulnerables

En el análisis de vulnerabilidad se han querido incluir también los equipamientos colectivos que durante períodos de tiempo más o menos largos acogen población más vulnerable (niños, ancianos, enfermos). Entre los equipamientos considerados se encuentran: Centros educativos (públicos, privados y concertados), Centros sanitarios (Hospital,

Centro de especialidades, Centros integrados de salud, Centro de salud, Consultorio, Centros de atención de drogodependientes) y Centros de atención especializada (centros de atención de atención a mayores -residencias, centros de día, centros de mayores y centros sociales-, centros de atención a menores -residencias y centros de atención temprana, guarderías y parques infantiles- y centros de atención a discapacitados -centros base, centros ocupacionales y centros de día-).

Algunos podrían ser conceptuados como elementos de respuesta ante situaciones de emergencia, por lo que contribuirían a disminuir el grado de vulnerabilidad de la población. Este aspecto (capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia) no ha sido contemplado en el presente estudio, por lo que su papel en el análisis de riesgos será el de "elemento vulnerable", del que interesará conocer, sobre todo, el tipo de población a la que atiende y su capacidad (número de plazas escolares, de camas, etc.)

No parece darse ninguna pauta de distribución espacial llamativa fuera de que, como es lógico, se encuentran distribuidos sobre los núcleos poblados, cercanos, por tanto, a sus

Nombre de la capa	Contenido	Tipo
Educa_centros	Centros educativos de Puente y Villa de Vallecas	Puntos
Centrosanitarios	Centros sanitarios de la Comunidad de Madrid	Puntos
Centrosani_distritos	Centros sanitarios de los distritos de Puente y Villa de Vallecas	Puntos
Atenc_discapacitados	Centros de atención a discapacitados (discapacidades físicas y psíquicas, centros ocupacionales y centros de día) de Puente y Vallecas Villa	Puntos
Atenc_mayores	Centros de atención a personas mayores (residencias geriátricas, centros de día, centros sociales, etc.) de Puente y Vallecas Villa	Puntos
Atenc_menores	Centros de atención a menores (residencias de menores, centros de atención temprana) de Puente y Vallecas Villa	Puntos
Guarderías	Guarderías y escuelas infantiles de Puente y Vallecas Villa	Puntos
Parques_infantiles	Zonas verdes y de ocio al aire libre con mobiliario de juegos infantiles de Puente y Vallecas Villa	Puntos

Tabla 5.- Los equipamientos vulnerables: capas de la base de datos

potenciales usuarios. También en este aspecto (relaciones espaciales entre los equipamientos colectivos y la población demandante) podría ser objeto de un estudio más detallado para detectar barrios con peores o menos accesibles dotaciones (ver, por ejemplo, Ramírez, 2004; Salado, 2004a y 2004b).

Las capas temáticas referentes a equipamientos vulnerables incluidas en el SIG se recogen en la Tabla 5.

2.1.5 Los puntos de control de la contaminación

Del listado original se utilizaron finalmente sólo las estaciones de control de la inmisión; sobre ellos se realizó una interpolación espacial de dos variables (dióxido de nitrógeno y benceno) para generar sendas superficies continuas.

Es necesario resaltar, sin embargo, que la posición espacial de esas estaciones de con-

trol (en el interior y los alrededores de los núcleos poblados, dejando amplios espacios vacíos fuera de esas zonas pobladas) supone un importante obstáculo para conseguir una interpolación de buena calidad. La validez, por tanto, del resultado quedaría restringida al área más próxima a esos núcleos de población en los que se concentran los puntos de muestreo.

En el siguiente apartado se aborda, con mayor profundidad, la problemática que plantea la inclusión de este tipo de datos en un estudio de riesgos tecnológicos. Más tarde, se tratan también en detalle los procedimientos adoptados para el tratamiento del resto de las capas de la base de datos hasta llegar a la obtención del mapa sintético de probabilidad espacial de la exposición a agentes potenciales de riesgos.

En la Tabla 6 (página siguiente), se recogen las capas temáticas referentes a equipamientos vulnerables incluidas en el SIG.

Nombre de la capa	Contenido	Tipo
Inmision_estac2	Estaciones de control de la inmisión. Biomarcadores	Puntos
Int_ppm3_no2	Superficies generadas por interpolación a partir de los puntos muestrales anteriores (dióxido de nitrógeno)	Raster
Int_benceno	Superficies generadas por interpolación a partir de los puntos muestrales anteriores (benceno)	Raster

Tabla 6.- Puntos de control de la contaminación: capas en la base de datos

2.2. Análisis realizados

2.2.1 Tipos de análisis realizados

Como comentábamos anteriormente, la cartografía de riesgos es ya una línea de investigación con cierta tradición. Sin embargo, la incorporación a este campo de los análisis territoriales y de los SIG es más reciente. La aplicación de esta herramienta a distintos ámbitos territoriales y temáticos irá revelando, a un tiempo, problemas aún sin resolver y soluciones posibles que contribuyan a una mayor madurez y difusión de los SIG en el campo de los riesgos ambientales para la salud.

El objetivo general perseguido consistía en explorar y comprobar las posibilidades que la perspectiva geográfica y las capacidades de análisis espacial implementadas en los SIG pueden tener para la valoración de los riesgos tecnológicos: capacidad de calcular y establecer áreas de exposición potencial, simulación de escenarios de riesgo, capacidad de la cartografía para visualizar, comunicar y gestionar los riesgos, etc. (Díaz Castillo, 2002). En este caso concreto, la definición de áreas de exposición a riesgos tecnológicos en los distritos madrileños de

Puente de Vallecas y Villa de Vallecas ha guiado los análisis realizados.

La mayor parte de las relaciones espaciales establecidas entre focos de riesgo potencial y población se han basado en "análisis de proximidad". Aún cuando las opciones tomadas en este trabajo para caracterizar la exposición y la vulnerabilidad puedan ser mejorables, es evidente que esa relación de proximidad incidirá de forma decisiva en la posibilidad de las instalaciones estudiadas produzcan algún tipo de daño en la población. Los resultados tienen un valor exploratorio y de primera aproximación a la situación real.

En este estudio se ha sido el utilizado el enfoque vectorial de forma mayoritaria. Las dificultades para conocer la forma real en que los focos de riesgo podrían afectar a la población circundante ha hecho necesario que nos remitamos a las determinaciones y a la "filosofía" del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (RAMINP) de 1961 y de las normativas de seguridad de diferentes actividades peligrosas. En todos estos documentos se establece una distancia de seguridad que debería separar las instalaciones potencialmente

peligrosas de la población, denominada alcance espacial.

Así, bien con esas directrices, bien con las directrices del personal del ISP se definieron esas "distancias de seguridad" y con ellas se crearon los corredores en torno a cada tipo de instalación

Por otra parte, se trataba también de evaluar la concurrencia en un determinado espacio de distintos tipos de riesgo mediante la superposición de corredores generados en torno a cada uno de los elementos definidos como potenciales fuentes de riesgo para la salud de la población. Estaríamos representando de esta forma lo que Bosque et al. (2004) han venido en denominar probabilidad espacial, esto es, la mayor o menor posibilidad de que un lugar se vea afectado por un accidente.

Hay, sin embargo, una pequeña parte del estudio que ha utilizado el enfoque raster para analizar y representar cartográficamente los datos de partida; así se han tratado los datos de inmisión, recogidos en una serie de puntos muestrales. Las características de éstos parecen adaptarse mejor a un modelo de datos que permite mostrar una gradación continua de la variable en el espacio. A pesar de las dificultades que ahora mencionaremos, puede ser un primer paso para modelizar la exposición de la población a ciertos productos y contaminantes, y evaluar así los riesgos por exposición continuada en el tiempo a esos factores ambientales. Además, mostrará la competencia y utilidad de los SIG en el tratamiento y análisis de este tipo de información.

2.2.2 Interpolación de los datos de inmisión

A partir de listados de coordenadas x e y se crearon una serie de capas vectoriales de puntos con una información temática asociada en la que se recogen aspectos relacionados con la calidad del agua y del aire en los dos distritos objeto de estudio, resultado de campañas emprendidas por el propio ISP y otros organismos públicos regionales, como el Canal de Isabel II.

Tras una revisión detallada de su precisión posicional, de la validez y relevancia de la información temática asociada y atendiendo a los intereses del ISP, se decidió utilizar solamente las estaciones de control de la inmisión, una red de 29 puntos muestrales distribuidos por este organismo a lo largo de diferentes sectores de Puente de Vallecas y Vallecas Villa para medir la concentración en la atmósfera de determinadas sustancias (dióxido de nitrógeno, benceno, tolueno, etilbenceno, etc.) que pueden implicar perjuicios para la salud o calidad de vida de la población.

La localización y distribución de estas estaciones de medición por parte del ISP parece que respondió a criterios de proximidad a vías de alta densidad circulatoria y a zonas industriales y urbanizadas, abarcando tan sólo el área urbanizada y poblada de ambos distritos.

Además, también a instancia de este organismo, el análisis se centró únicamente en los valores registrados para dos sustancias concretas, el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el benceno.

Como ya se ha mencionado, el análisis de esta información se desarrolló en un entorno raster, basándose en la generación de una superficie de interpolación a partir de los valores registrados para esas sustancias seleccionadas.

En este caso se contaba con los valores reales, microgramos por metro cúbico ($\mu\text{gr. /m}^3$) de NO_2 y benceno registrados en cada una de las estaciones de inmisión, y, por tanto, era posible plantear la generación de una superficie de interpolación a partir de dicha información.

Entre los diversos métodos de interpolación existentes se optó por utilizar el denominado de "*medias móviles ponderadas por la distancia*".

El resultado de este tipo de análisis para las inmisiones de NO_2 y benceno constituye una superficie continua a lo largo de todo el área de estudio, representada como una cuadrícula con celdas de 10 por 10 metros.

Los resultados de estas interpolaciones deben ser interpretados adecuadamente; su validez y fiabilidad está muy condicionada por las características y limitaciones que presenta la información de partida. En primer lugar, la densidad y la distribución de las estaciones de control de la inmisión no parecen ser las más adecuadas para plantear este tipo de análisis y obtener resultados suficientemente fiables. Se desconoce, en este caso, cuál ha sido la extensión temporal de la recogida de información, aspecto, sin duda, también de gran relevancia a la hora de considerar estos valores como significativos y obtener resultados de calidad. Las esta-

ciones no están distribuidas ni aleatoria ni homogéneamente a lo largo de todo el territorio. Su ubicación parece responder a unos determinados criterios, relacionados fundamentalmente con la proximidad a vías de alta densidad circulatoria, zonas industriales, etc., y la serie muestral, por tanto, no abarca amplias zonas de los dos distritos.

En este sentido, destaca la ausencia de mediciones en el sector más suroriental del distrito de Villa de Vallecas, en el entorno de la incineradora de RSU de Valdemingómez, y también en las zonas limítrofes al área de estudio, en distritos y municipios vecinos de Puente de Vallecas y Villa de Vallecas, como Moratalaz, Vicálvaro, Retiro, Getafe, Rivas-Vaciamadrid, etc.

La distribución de los puntos de recogida de información se limita exclusivamente al ámbito administrativo de los dos distritos y no se dispone de mediciones en zonas próximas, con concentraciones urbanas, industriales, etc., tan importantes como las de la zona de estudio, y desde donde se pueden estar emitiendo a la atmósfera importantes cantidades de este tipo de sustancias que, igualmente, pueden afectar a amplios sectores de la zona de estudio.

Todos estos aspectos limitan considerablemente la validez que se le pueda dar a los resultados de la interpolación. Por tanto, pensando en una futura ampliación de esta investigación, se hace preciso mejorar las campañas de muestreo con series más amplias, espacial y temporalmente, bien distribuidas por el territorio y no restringidas al ámbito marcado por los límites administrativos.

Los valores de NO₂ y benceno obtenidos tras la interpolación son más elevados en barrios como San Diego o Numancia; en aquellas estaciones ubicadas en el entorno de la confluencia entre las tres grandes arterias del distrito de Puente de Vallecas (Avenida de la Albufera, Avenida de la Paz-M30 y Avenida del Mediterráneo) y en las proximidades del área industrial de Villa de Vallecas.

También del análisis de esta información hay que destacar que, en todo caso, los valores de NO₂ y benceno registrados no superan los límites considerados por la legislación vigente (Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, Sobre Evaluación y Gestión de la Calidad del Aire Ambiente en Relación con el Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Óxidos de Nitrógeno, Partículas, Plomo, Benceno y Monóxido de Carbono. BOE 260, de 30-10-02) como tolerables para la protección de la salud humana, situado en concentraciones inferiores a 5 µgr./m³ de benceno y de 200 µgr./m³ para el NO₂.

El valor máximo medido de NO₂ es ligeramente superior a 70 µgr./m³ tan sólo en dos estaciones (las situadas en la Avenida del Mediterráneo, en el barrio de Numancia, y en las inmediaciones de la zona industrial de Villa de Vallecas). Para el benceno el valor máximo es de 4'60 µgr./m³ registrado en una única estación, localizada en la Avenida de la Albufera, en el límite entre los barrios de San Diego y Numancia.

2.2.3 Análisis del riesgo derivado de las instalaciones potencialmente nocivas, molestas o peligrosas existentes en el área de estudio.

Siguiendo lo expuesto anteriormente y basándonos en el trabajo de Bosque et al. (2004), se estableció un corredor en torno a cada uno de los potenciales agentes de riesgo de tamaño variable (entre 50 y 2.000 metros) en función de un posible alcance del impacto en caso de accidente hipotético en los mismos. De mayor a menor alcance, las instalaciones se agruparon como sigue:

- El corredor de mayor extensión (2.000 metros) se estableció en torno a tres tipos de instalaciones: los depósitos de combustible, gestores de residuos peligrosos, y la incineradora de Valdemingómez.
- Para los establecimientos industriales, se estableció un corredor diferente en función de si el tipo de actividad que desarrollaran era más o menos peligrosa para la población, atendiendo a una clasificación realizada por el propio ISP tras una inspección del conjunto de establecimientos industriales existentes en los dos distritos. El corredor de mayor dimensión (1.000 metros) sólo se estableció para un total de 2 industrias, cuya actividad tenía que ver con el almacenamiento y distribución de determinados combustibles y sustancias químicas.
- El corredor seleccionado de 500 metros fue el seleccionado para la mayoría de agentes potenciales de riesgo: torres de refrigeración, depuradoras de aguas residuales, vertederos incontrolados y sanitariamente controlados, establecimientos y

servicios plaguicidas, líneas de alta tensión, gasoducto, oleoducto, y en el caso de 2 de las industrias inspeccionadas por el ISP.

- En torno a las antenas de telefonía móvil, gasolineras y para 6 de las industrias inspeccionadas por el ISP, se estableció un corredor de 250 metros.

- Para la mayoría de las industrias, sin embargo, el corredor se fijó en 100 metros.

- El corredor establecido en torno a las carreteras orbitales y de alta capacidad fue de 75 metros.

- Finalmente, de tan sólo 50 metros fue el corredor asignado a 7 de las industrias inspeccionadas; de las 50 inicialmente inspeccionadas, 20 quedaron sin ser incluidas como agentes potenciales de riesgo por la escasa repercusión que en este sentido tendrían las actividades realizadas en ellas.

2.2.4 Equipamientos vulnerables localizados en el área de exposición de los distintos agentes potenciales de riesgo

Una vez establecidos los distintos corredores, se procedió a realizar un "análisis de punto en polígono" con el fin de conocer qué cantidad y tipo de equipamientos sensibles se encontraban en las áreas de exposición anteriormente definidas.

El análisis se realizó individualmente para cada uno de los agentes, así como para el conjunto de los mismos, tomando como unidad espacial de referencia tanto los dos distritos contemplados en el estudio, como los ocho barrios en los que se dividen, pues consideramos que es ésta la unidad de referencia más cercana a la población.

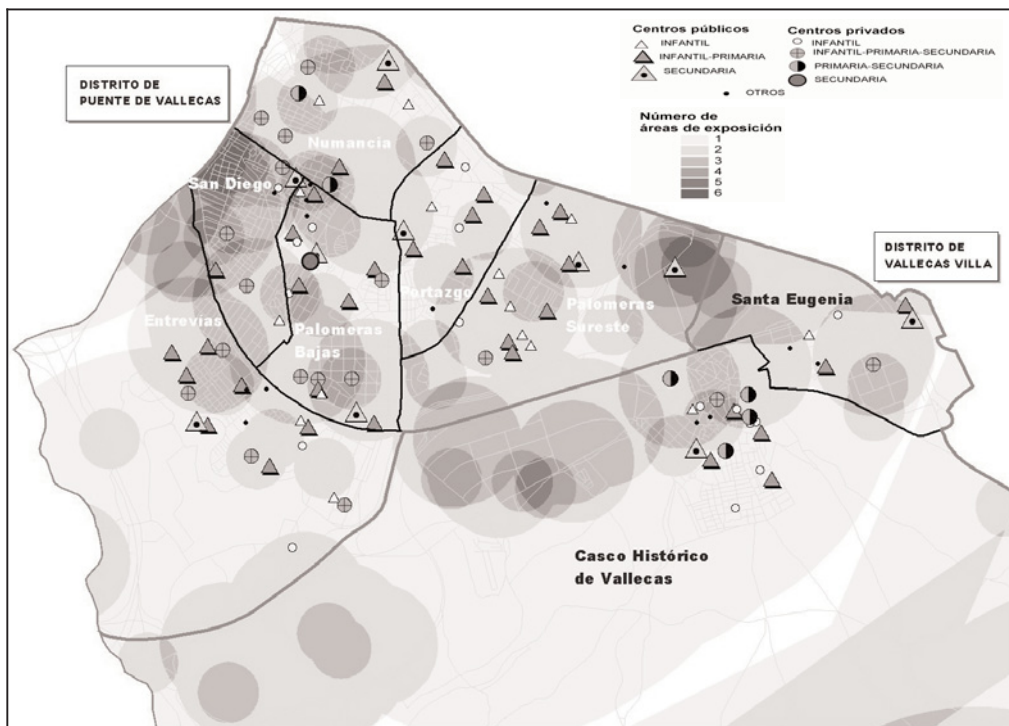


Figura 4.- Centros educativos en cada número de exposición

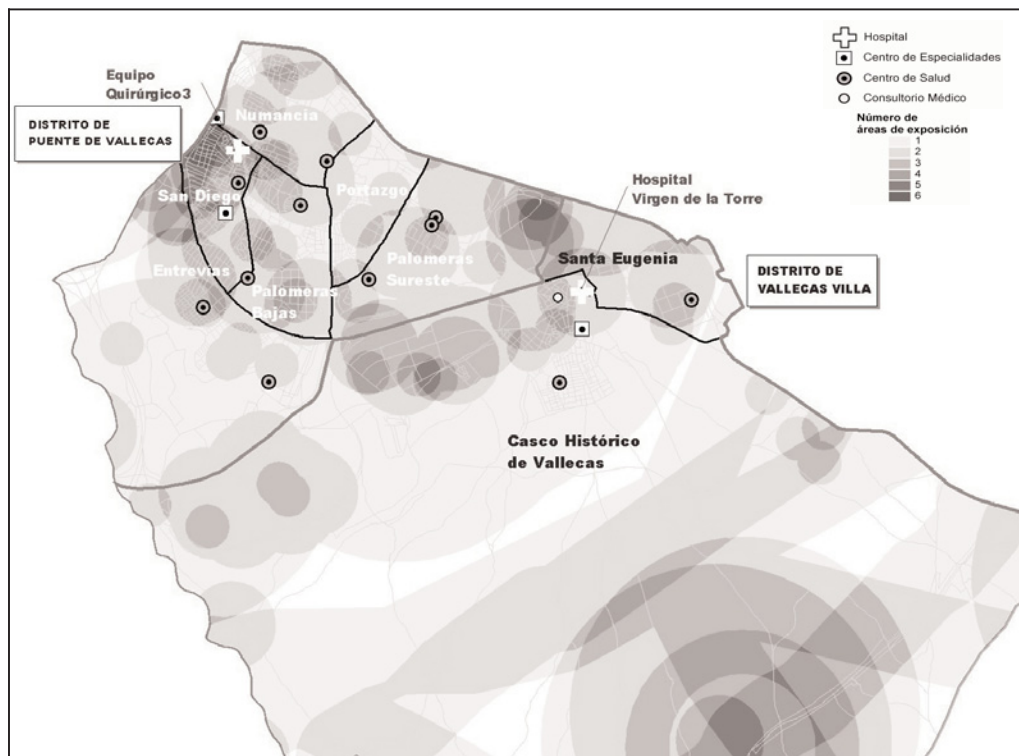


Figura 5.- Centros sanitarios en cada número de exposición

Como podemos comprobar en las Figuras 4 y 5, un alto porcentaje de estos equipamientos se encuentra en el área de exposición de algún agente, especialmente en la de todos aquellos cuya presencia es relativamente normal en un entorno tan urbanizado como el aquí tratado: torres de refrigeración, establecimientos y servicios plaguicidas o telefonía móvil. En este sentido cabe destacar, por ejemplo, que el 81% de los centros sanitarios se encuentran en las inmediaciones de alguna de las torres de refrigeración registradas.

Sin embargo, también podemos observar como en el área de exposición de determinados agentes (algunos de los que podrían considerarse como más peligrosos) no se encuentra ningún equipamiento de los aquí reseñados. Sería el caso de las líneas de alta tensión, la incineradora y el vertedero de Valdemingómez, el gasoducto, el oleoducto,

las depuradoras y de la mayoría de las industrias inspeccionadas. Este hecho se podría explicar, en parte, por la localización de instalaciones de este tipo al sur del distrito de Villa de Vallecas, zona que prácticamente no se encuentra urbanizada.

De la información contenida en la Tabla 7 (página siguiente), también se deriva que son los equipamientos localizados en Puente de Vallecas los más afectados respecto a los de Villa de Vallecas; un resultado que es, de nuevo, en parte lógico por concentrarse en este distrito la mayor parte de ellos. Concretamente, de los 335 equipamientos analizados, el 79'7% se encuentran en Puente.

Observando los datos por barrios, es el de Palomeras Bajas el que acumula el mayor número de equipamientos incluido en el

Nº de áreas exposición	Cent. Sanit.	Atención mayores	Atención menores	Atención discapac.	Cent. educativos	Guarderías	Parques infantiles	TOTAL
1	5	3	2	2	52	10	53	127
2	10	2	1	1	31	4	38	87
3	4	1	...	...	16	8	22	51
4	1	2	...	1	5	1	6	16
5	...	...	...	1	...	...	...	1
6	...	...	...	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...	...	...	...
TOTAL	20	8	3	5	104	23	119	282

Tabla 7.- Número de equipamientos vulnerables por área de exposición

área de exposición de algún agente potencial de riesgo, siendo el Casco Histórico de Vallecas el más afectado en el caso del distrito de Villa de Vallecas.

2.2.5 Población (total y por grupos de edad) dentro del área de exposición de los distintos agentes potenciales de riesgo

Para obtener estos datos se hizo de nuevo uso de las posibilidades que en este sentido nos ofrece el SIG y el "análisis de punto en polígono", obteniendo resúmenes estadísticos para cada uno de los grupos de población "vulnerable" establecidos por el ISP (hasta ocho), y para cada uno de los agentes potenciales de riesgo, tomando siempre como unidad espacial de referencia los ocho barrios en los que se dividen los dos distritos contemplados en el estudio.

Observando los datos de la Tabla 8, encontramos que, en términos absolutos, el 87'4% de la población se encuentra en el área de exposición de algún agente potencial de

riesgo. El dato apenas desciende si contemplamos los distintos grupos de población, registrando el porcentaje más bajo el grupo de población infantil de menos de 1 año, con un 86'5% del total residiendo en alguna de las áreas de exposición establecidas en el estudio.

Sin embargo, el grupo con mayor porcentaje de población potencialmente afectada sería el de 75 a 84 años, siendo éste, además, uno de los grupos considerados como propiamente más vulnerable por sus limitaciones y escasa autonomía a la hora de, por ejemplo, tener que realizar una evacuación en caso de producirse un accidente relacionado con una instalación peligrosa (Zografos y Davis, 1989).

Si tomamos como referencia los distintos agentes potenciales de riesgo, y en términos de población total afectada, las torres de refrigeración son las que acumulan en su área de exposición mayor porcentaje de población (57%), seguida por el de las antenas de telefonía móvil (35'4%), los establecimientos y servicios plaguicidas (33%) y los vertederos incontrolados (18'5%).

	<1 año	%	< 5 años	%	5-14 años	%	15-34 años	%	35-64 años	%	65-74 años	%	75-84 años	%	>85 años	%	TOTAL	%
1	1.059	34'5	4.755	35'4	11.215	38'7	34.947	38'2	43.412	39	11.961	39	6.599	38	1.716	36'8	114.772	38'5
2	865	28'2	3.834	28'5	8.273	28'6	25.122	27'5	31.111	28	8.574	28	4.801	27'6	1.220	26'2	83.001	27'8
3	536	17'4	2.253	16'7	4.337	15	14.006	15'3	17.067	15'3	4.803	15'6	3.110	18	807	17'3	46.384	15'5
4	123	4	535	4	949	3'2	3.402	3'7	4.019	3'6	1.102	3'5	637	3'6	194	4'1	10.839	3'6
5	54	1'7	214	1'5	354	1'2	1.542	1'6	1.492	1'3	373	1'2	257	1'4	91	2	4.322	1'4
6	6	0'2	27	0'2	54	0'1	157	0'1	180	0'1	27	0'08	10	0'05	3	0'06	457	0'1
7	1	0'03	5	0'03	5	0'01	22	0'02	16	0'01	3	0'009	1	0'005	0	0	51	0'01
Total	2.644	86'3	11.623	86'5	25.187	87	79.198	86'7	97.297	87'4	26.843	87'5	15.415	88'7	4.031	88'3	259.826	87'2

Tabla 8.- Población vulnerable en cada nivel de exposición total a los agentes potenciales de riesgo

Podría resultar preocupante el alto porcentaje de población potencialmente afectada por establecimientos plaguicidas y, en menor medida, la afectada por vertederos incontrolados, pues en teoría no hay justificación válida para que este tipo de instalaciones se encuentre tan próximo a un volumen tan importante de población.

Es de destacar también el hecho de que el porcentaje de población residente en el área de exposición del resto de los agentes potenciales de riesgo se encuentre tan alejada de los anteriormente citados. Así, el siguiente agente con el volumen de población mayor en su área de exposición serían las líneas de alta tensión, descendiendo a tan sólo el 9% de la población. Por otro lado también podemos comprobar como en el área de exposición de los agentes considerados como más peligrosos (motivo por el cual

se les adjudicó un área de exposición de 2.000 metros) sólo se acumula el 2'4% de la población total en el caso de los depósitos de combustible, o el 0'03% en el caso de los gestores de residuos peligrosos, no encontrándose población alguna en el área de la incineradora de Valdemingómez.

Conviene mencionar la situación especial de cierta concentración de población que aquí no aparece analizada de manera conjunta con el resto. Nos estamos refiriendo a los núcleos chabolistas y de ocupación ilegal de la Cañada Real, cuya población no se encuentran censada oficialmente y para los que tan sólo se dispone del dato global de población, y no de información demográfica desagregada, por ejemplo, por grupos de edad y sexo. Según los datos proporcionados por el ISP, el volumen de esta población asciende a 1.086 personas repartidos entre

los núcleos de las Barranquillas, Cañada de los Canteros o el Cristo (en Villa de Vallecas) y Particular de Santa Catalina y Trigales en Puente de Vallecas. Básicamente esta población se situaría en el área de influencia de los siguientes agentes: líneas eléctricas de alta tensión, gestores de residuos peligrosos, gasoductos e incineradora y vertedero de Valdemingómez.

A nivel de barrio observamos que, dentro del distrito de Puente de Vallecas, destaca claramente el barrio de San Diego como uno de los más afectados, registrándose el máximo de población afectada (total y por grupos de edad) hasta para cuatro agentes potencialmente peligrosos diferentes (establecimientos y servicios plaguicidas, líneas de alta tensión, depósitos de combustible y gasolineras). Muy de cerca le seguiría el barrio de Numancia, registrando el máximo de población afectada en el caso de las torres de refrigeración, antenas de telefonía móvil y la contaminación acústica producida por las carreteras analizadas en el estudio. Justo en el caso opuesto estaría el barrio de Portazgo, que registra una nula exposición de población o valores mínimos.

En el distrito de Villa de Vallecas, es la población del Casco Histórico la que claramente se encuentra más expuesta a algún tipo de riesgo derivado de los agentes tratados. No sólo registra los valores más elevados de población total expuesta y por grupos en el caso de los establecimientos y servicios plaguicidas y vertederos incontrolados, sino que además es el único con población en el área de exposición del gasoducto que atraviesa la zona, el oleoducto, los gestores de residuos peligrosos, alguna de las industrias inspeccio-

nadas por el ISP y del vertedero de Valdemingómez.

Finalmente, para la exposición a industrias inspeccionadas por el ISP, son tres barrios los que registran de manera reiterada población expuesta a los diferentes intervalos fijados: Entrevías, Palomeras Sureste y el Casco Histórico de Vallecas. Este último caso destaca especialmente por encontrarse parte de su población en el área de exposición de cuatro de los cinco grupos de industrias discriminadas.

2.2.6 Obtención del mapa sintético de probabilidad espacial de la exposición a agentes potenciales de riesgos

Aprovechando las posibilidades que nos ofrece en este sentido el SIG, y concretamente el formato vectorial, procedimos a superponer todos los "buffers" realizados para generar así un mapa sintético, recogiendo las diferencias en el territorio en cuanto al número de exposiciones al que se encuentra sometido. En este sentido la probabilidad espacial hace referencia a la posibilidad de que un lugar sea afectado por un accidente tecnológico grave en función del número de instalaciones potencialmente peligrosas que se encuentren en sus inmediaciones. Así, cuantos más agentes potenciales se encuentren concentrados en un determinado lugar del territorio, más probabilidad tiene éste de verse afectado por una eventual catástrofe (Bosque et al., 2004). Se trata pues de una medida muy básica, pero de la que se pueden extraer interpretaciones muy interesantes sobre si se alcanza o no un cierto grado

de justicia espacial en la distribución de estas instalaciones en el territorio objeto de estudio.

Tal y como puede observarse en la Figura 2, existe una coincidencia de hasta 6 áreas de exposición distintas de las 19 posibles (incluyendo cinco áreas diferenciadas para cada tipo de industria). Como puede comprobarse en el citado mapa, son los barrios de Casco Histórico de Vallecas y, en menor medida, Palomeras Sureste y Santa Eugenia los que registran mayor número de zonas expuestas al área de influencia de agentes potenciales de riesgo. La diferencia con otros barrios como Numancia o Portazgo en cuanto a "concentración de potenciales riesgos" es notable.

Analizando el número de equipamientos sensibles y la población potencialmente afectada por número de exposiciones, comprobamos que los mayores porcentajes se encuentran en la coincidencia de hasta dos áreas de exposición, descendiendo de manera notable, tanto en número de equipamientos como población expuesta, a partir de la coincidencia de más de tres exposiciones.

Así tenemos que un 64% de los equipamientos existentes en el área de estudio se encontrarían en el área de influencia de hasta 2 de los agentes potencialmente peligrosos contemplados, siendo tan sólo un 0'3% los que se encuentran en el área de exposición de hasta 5 agentes distintos.

Por otro lado, de esta tabla resumen también podemos extraer que todos los centros de atención a menores, de atención a discapacitados, guarderías y casi todos los centros

sanitarios y de atención a mayores se encuentran en el área de exposición de algún agente, así como el 87% de los centros educativos y el 78% de los parques infantiles.

El patrón se repite al analizar los datos de población y así encontramos, de nuevo, que el mayor volumen de población residente en estos dos distritos (total y por grupos de edad) se encuentra en el área de influencia de hasta 3 agentes potenciales de riesgo (80%). Sin embargo en este caso sí que se registra población afectada en la coincidencia de 6 y 7 agentes diferentes, aunque los porcentajes son verdaderamente bajos (no supera en ningún caso el 0'2%).

3. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Anteriormente quedaron expuestos los resultados obtenidos del proyecto. Además del diagnóstico sobre los riesgos ambientales que afectan a la salud de la población y a los equipamientos sanitarios y educativos de Puente de Vallecas y Vallecas Villa, objetivo primero del proyecto, la generada base de datos SIG tiene el potencial de servir como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en materia de salud en labores relacionadas con localización de elementos, búsquedas espaciales y temáticas, estudio de pautas y de tendencias, análisis de redes, modelos, simulaciones y evaluación de alternativas.

El sistema desarrollado presenta también algunas limitaciones que deben destacarse y conocerse de cara a una correcta utilización del mismo. Estas limitaciones están ligadas,

en unos casos, a la propia naturaleza del proyecto de investigación, de sólo seis meses de duración y con un presupuesto modesto, y en otros, a la naturaleza de los datos disponibles, no siempre actualizado ni exhaustivo.

Desde el punto de vista de la calidad de los datos, es necesario tener en cuenta que algunas capas de información, especialmente las referentes a instalaciones industriales, presentan importantes ausencias e inexactitudes por lo que su uso debe ser abordado con la máxima precaución.

En cuanto a la población, el hecho de haberla desagregado por portales ofrece una importante ventaja al flexibilizar las posibilidades de agregación en unidades espaciales de nueva creación (como áreas de influencia de determinada fuente de riesgo potencial), pero al mismo tiempo se pierde la exactitud y por tanto los resultados relativos a cantidad de población afectada por determinada área de influencia hay que entenderlos como una aproximación.

En cuanto a las limitaciones derivadas de la metodología adoptada, cabe destacar el hecho de que todas las fuentes potenciales de riesgo han sido tratadas de la misma manera. Es decir, no se han concedido pesos diferentes a los diferentes riesgos ni se han diferenciado por tipos (dentro de los accidentes: explosión, escape líquido, escape de gas, etc.; dentro de la exposición continuada: contaminación atmosférica, contaminación electromagnética, etc.) y por ello, las áreas afectadas por uno, dos o más riesgos deben ser matizadas, en cada caso, por el tipo de riesgo de que se trate.

Por otra parte, en la mayoría de los casos, se ha establecido un umbral de distancia dentro del cual esos riesgos pueden afectar a la población y los equipamientos pero no se ha tratado el área de influencia de tales riesgos como una función de distancia cuyo peso disminuye proporcionalmente al aumento de la distancia al foco emisor.

Debido a las limitaciones expuestas, el presente proyecto, concebido como proyecto piloto, debería ampliar su temática y objetivos antes de convertirse en una herramienta de uso cotidiano de apoyo a la toma de decisiones.

Entre las ampliaciones del estudio que interesaría acometer incluimos las siguientes:

- Relación de los resultados obtenidos con encuestas de percepción social de riesgos en que se detalle el domicilio del encuestado de forma que sea posible establecer diferencias en cuanto a esa percepción en función de la distancia a determinadas instalaciones y por su adscripción a un determinado barrio o distrito.
- Creación de herramientas de difusión de la información ambiental y de discusión/participación.
- La temática del proyecto debería ampliarse al estudio de la dotación de servicios y la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia, la situación de vulnerabilidad que afecta a grupos específicos de población (no sólo clasificados en función de la edad) y al estudio de los riesgos naturales.

- La funcionalidad de la herramienta creada es también susceptible de ampliación. Deberían establecerse mecanismos y protocolos para facilitar la actualización de la base de datos en tiempo real. Paralelamente, resultaría de gran interés el desarrollo de protocolos que permitieran el análisis de fenómenos dinámicos y la realización de búsquedas temporales.

El proyecto acometido constituye un importante paso en la adopción de métodos y técnicas en la gestión de riesgos ambientales para la salud de la población pero su carácter de proyecto piloto limita las posibilidades analíticas de los SIG. Una ampliación en las líneas propuestas resulta imprescindible antes de poder beneficiarse de las posibilidades que éstos ofrecen.

4. BIBLIOGRAFÍA

Bosque Sendra, J. (1997): *Sistemas de Información Geográfica*, Madrid, Editorial Rialp.

Bosque Sendra, J., Díaz Castillo, C., Díaz Muñoz, M. A., Gómez Delgado, M., González Ferreiro, D., Rodríguez Espinosa, V. M., Salado García, M. J. (2004): "Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid", *GeoFocus*, nº 4, pp. 44-78.

Díaz Castillo, C. (2002): *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la valoración de riesgos tecnológicos. Análisis de la vulnerabilidad del territorio ante riesgos derivados de la gestión de residuos en la*

Comunidad de Madrid. Inédito, Universidad de Alcalá, TIT.

Ramírez, L. (2004): "Localización de equipamientos deseables. Los hospitales de la provincia del Chaco (Argentina)", en Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (eds). *Sistemas de Información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*, Madrid. Ra-Ma, pp. 207-245.

Salado García, M.J. (2004a) "Accesibilidad efectiva y elección personal: la estructura espaciotemporal del servicios de guarderías y escuelas infantiles de Alcalá de Henares", en Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (eds). *Sistemas de Información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*, Madrid. Ra-Ma, pp. 175-206.

Salado García, M.J. (2004b) "Localización de equipamientos colectivos, accesibilidad y bienestar social", en Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (eds). *Sistemas de Información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*, Madrid. Ra-Ma, pp. 17-51.

Zografos, K. y Davis, CH. (1989): "Multi-objective programming approach for routing hazardous materials", *Journal of Transportation Engineering*. Vol.115, No.6, pp. 661-673.

