

SALUD Y TERRITORIO
APLICACIONES PRÁCTICAS
DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
PARA LA SALUD AMBIENTAL

SERIE
DE AERIBUS, AQUIS ET LOCIS



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE SANIDAD AMBIENTAL

SERIE

DE AERIBUS, AQUIS ET LOCIS

Editores y Autores:

- Emiliano Aránguez Ruíz. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.
- Miriam Arribas García. Grupo de trabajo sobre sistemas de información geográfica de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental.
- Juan Aránguez Gilarranz. Grupo de trabajo sobre sistemas de información geográfica de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental.
- José M^a Ordóñez Iriarte. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.

Autores de los textos del Capítulo 4, segunda parte:

- Anna Cuadras Andreu. Observatori de Salut i Medi Ambient del Camp de Tarragona. España.
- Antonio Wallo Vázquez. Instituto de Meteorología. Regla (La Habana). Cuba.
- Christovam Barcellos. Departamento de Informações em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Brasil.
- Clara Calvo Mora. Instituto de Salud Pública. Madrid Salud. España.
- Diana E. de Pietri. Ministerio de Salud de la Nación de Argentina.
- Enric Rovira Ricart. Observatori de Salut i Medi Ambient del Camp de Tarragona. España
- Fernando Carreras Vaquer. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. España
- Gregory M. Zarus. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Division of Health Assessment and Consultation. Atlanta, GA. EEUU
- Helen da Costa Gurgel. Departamento de Geografia, Universidade de Brasília. Brasil
- Irene Corbella Codomí. Agencia de Salud Pública de Catalunya. España.
- José Jesús Guillén Pérez. Dirección General de Salud Pública. Región de Murcia.
- José María Cámara Vicario. Instituto de Salud Pública. Madrid Salud. España.
- Lluís Cirera Suárez. Dirección General de Salud Pública. Región de Murcia.
- Lluís Picart Barrot. Agencia de Salud Pública de Catalunya. España.
- Lourdes Rosales-Guevara. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Division of Health Assessment and Consultation. Atlanta, GA. EEUU.
- Manuel García Howlett. Instituto de Salud Pública. Madrid Salud. España.
- Margarita Palau Miguel. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. España
- Mónica Ballesta Ruiz. Dirección General de Salud Pública. Región de Murcia.
- Osvaldo Cuesta Santos. Instituto de Meteorología. Regla (La Habana). Cuba.
- Pere Serra Costa. Agencia de Salud Pública de Catalunya. España.
- Susana García. Ministerio de Salud de la Nación en Argentina

Director de la Serie “ De aeribus, aquis et locis”

- José Jesús Guillén Pérez

SALUD Y TERRITORIO

APLICACIONES PRÁCTICAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA SALUD AMBIENTAL

Serie "De aeribus, aquis et locis" n°2



Sociedad Española de Sanidad Ambiental

Edita: Sociedad Española de Sanidad Ambiental

© Sociedad Española de Sanidad Ambiental

© Diseño portada: Ápice XXII

Impresión: Ápice XXII

Depósito legal: M-31838-2012

I.S.B.N.: 978-84-616-0681-8

Presentación

La conveniencia del uso de herramientas de información geográfica en salud ambiental es patente, tanto en la planificación de actividades como en la evaluación, control y vigilancia de los elementos de diverso tipo que participan en los procesos de exposición de la población humana a contaminantes ambientales. Esto es así porque los riesgos ambientales para la salud se verifican siempre a través del territorio, lo que quiere decir que para su conocimiento y gestión hay que considerar las variables en su interconexión espacial. Solo la visualización topológica, es decir interrelacionada en el espacio geográfico, de los factores ambientales y de la población susceptible es ya por sí misma un instrumento que ayuda a entender innumerables incógnitas relacionadas con la presencia de riesgos ambientales para la salud.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son un conjunto de herramientas muy potentes que permiten abordar, con una facilidad impensable hace algunas décadas, muchas de las cuestiones que se plantean cotidianamente a los profesionales de la salud ambiental.

Por estas razones, la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE SANIDAD AMBIENTAL (SESA) se ha planteado la necesidad de publicar un documento que sirva a la vez como introducción a dichas herramientas y como revisión y puesta al día de su estado actual en lo que a aplicaciones prácticas se refiere, acercando este mundo al profesional de la salud ambiental tanto desde el punto de vista teórico como práctico, para que pueda incorporarlo a su bagaje.

La materia prima fundamental con la que se labra este libro está en los materiales reunidos para ser usados en los talleres que se han celebrado en las últimas ediciones de los congresos de SESA y que constituyen la primera parte del libro. En los tres primeros capítulos se describen, sin entrar en detalles académicos propios de especialistas, los aspectos que todo usuario de los SIG debe conocer. Se hace referencia en estos capítulos a las tres principales señas de identidad de los SIG:

- El manejo y gestión de información espacial, sus posibilidades y sus limitaciones,
- La representación cartográfica de la información geográfica, sus posibilidades y sus limitaciones, y
- El análisis espacial, sus posibilidades y sus limitaciones.

Tras sobrevolar estas tres columnas que explican el enorme campo de los SIG, el libro entra en lo fundamental: las aplicaciones prácticas para el profesional de la salud ambiental. Para adentrarse en este terreno práctico se utilizan dos estrategias complementarias.

Por un lado, se hace una revisión sistemática de los retos y respuestas que plantean los SIG en diversos campos de la cartera de servicios de la sanidad ambiental. Se

analizan las áreas clásicas y las emergentes: aguas, evaluación de riesgos, contaminación atmosférica, cambio climático, vigilancia de las enfermedades de posible origen ambiental, las desigualdades territoriales,... Se utiliza en este apartado el material diseñado para los talleres precongresuales a los que se ha aludido y una revisión actualizada de los trabajos más recientes encontrados en la bibliografía. Todo ello con un hilo conductor que se expresa en forma de pregunta: ¿Cómo pueden ayudar los SIG a conocer mejor la exposición de las comunidades a riesgos ambientales y, en concreto, a mejorar la medida de dicha exposición?

La segunda estrategia que se utiliza para conocer las aplicaciones prácticas de los SIG en la salud ambiental es, precisamente, conocer algunas experiencias de primera mano que proporcionen una visión desde muchos encuadres distintos. De esta forma se corrige, por un lado, la posible y excesiva focalización territorial de los supuestos prácticos elaborados por los autores/editores que se sitúan en su mayoría en la Comunidad de Madrid y, por otro, se equilibra el predominio anglosajón de la literatura. Con esta finalidad, se invitó a profesionales de la salud ambiental, fundamentalmente del ámbito iberoamericano, para que desgranaran sus propias experiencias en este terreno. La invitación se ha cursado a profesionales que habían presentado previamente sus trabajos en reuniones científicas de SESA o en la REVISTA DE SALUD AMBIENTAL de la propia SOCIEDAD. Se ha conseguido con este procedimiento tener una visión plural, procedente de diversos territorios de España, Brasil, Cuba o la Argentina y con distintos enfoques sobre diferentes temas: el agua de abastecimiento, el impacto de industrias y espacios contaminados, la contaminación atmosférica, el cambio climático, las enfermedades vectoriales, el control de plagas, etc.

Y con todo este material, ¿qué se pretende? Lo que SESA quiere es poner en las manos de los profesionales de la salud ambiental un producto sugerente, estimulante y desmitificador. Sugerente porque le ayude a abrir los ojos para descubrir las posibilidades nuevas que se le ofrecen; estimulante porque le invite a desarrollar la intuición espacial necesaria para buscar soluciones a los problemas que se le plantean en su labor cotidiana; y desmitificador porque al ser una tecnología relativamente nueva puede estar cargada de connotaciones más o menos intencionadamente crípticas (“es muy difícil”, “necesita de una formación especializada inalcanzable”, etc.) que la distancien de su actividad profesional y es función de una sociedad científica acortar estas distancias y eliminar barreras mentales.

Junta Directiva
Sociedad Española de Sanidad Ambiental

Créditos

Editores y autores:

- **Emiliano Aránguez Ruiz.** Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.
- **Miriam Arribas García.** Grupo de trabajo sobre sistemas de información geográfica de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental.
- **Juan Aránguez Gilarranz.** Grupo de trabajo sobre sistemas de información geográfica de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental.
- **José M^a Ordóñez Iriarte.** Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.

Autores de los textos del epígrafe 4.2:

- **Anna Cuadras Andreu.** Observatori de Salut i Medi Ambient del Camp de Tarragona. España.
- **Antonio Wallo Vázquez.** Instituto de Meteorología. Regla (La Habana). Cuba.
- **Christovam Barcellos.** Departamento de Informações em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Brasil.
- **Clara Calvo Mora.** Instituto de Salud Pública. Madrid Salud. España.
- **Diana E. de Pietri.** Ministerio de Salud de la Nación de Argentina.
- **Enric Rovira Ricart.** Observatori de Salut i Medi Ambient del Camp de Tarragona. España
- **Fernando Carreras Vaquer.** Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. España
- **Gregory M. Zarus.** Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Division of Health Assessment and Consultation. Atlanta, GA. EEUU
- **Helen da Costa Gurgel.** Departamento de Geografia, Universidade de Brasília. Brasil
- **Irene Corbella Cordoní.** Agencia de Salud Pública de Catalunya. España.
- **José Jesús Guillén Pérez.** Dirección General de Salud Pública. Región de Murcia.
- **José María Cámara Vicario.** Instituto de Salud Pública. Madrid Salud. España.
- **Lluís Cirera Suárez.** Dirección General de Salud Pública. Región de Murcia.
- **Lluís Picart Barrot.** Agencia de Salud Pública de Catalunya. España.
- **Lourdes Rosales-Guevara.** Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Division of Health Assessment and Consultation. Atlanta, GA. EEUU.
- **Manuel García Howlett.** Instituto de Salud Pública. Madrid Salud. España.
- **Margarita Palau Miguel.** Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. España
- **Mónica Ballesta Ruiz.** Dirección General de Salud Pública. Región de Murcia.
- **Oswaldo Cuesta Santos.** Instituto de Meteorología. Regla (La Habana). Cuba.
- **Pere Serra Costa.** Agencia de Salud Pública de Catalunya. España.
- **Susana García.** Ministerio de Salud de la Nación en Argentina.

Cita recomendada:

Aránguez Ruiz E, Arribas García M, Aránguez Gilarranz J, Ordóñez Iriarte JM. **Salud y territorio. Aplicaciones prácticas de los sistemas de información geográfica a la salud ambiental.** Madrid. Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Serie *De aeribus, aquis et locis* nº 2. 2012.

Revisores y expertos consultados

- **Carlos Barboza.** Ministerio de Salud Pública. Uruguay.
- **Carlos Dora.** Organización Mundial de la Salud (OMS)
- **Carlos Corvalán.** Organización Panamericana de Salud (OPS)
- **Daniel Buss.** Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Brasil.
- **Domingo Gómez Orea.** Universidad Politécnica de Madrid. España.
- **Francisco Javier Escobar Martínez.** Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá de Henares. España
- **Gilma C. Mantilla.** Earth Institute at Columbia University. Estados Unidos.
- **Gregory M. Zarus.** Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Estados Unidos.
- **Javier Aldaz Berrueto.** Gobierno de Navarra. España.
- **José Vicente Martí Boscà.** Generalitat Valenciana. España.
- **Luis Francisco Sánchez Otero.** Organización del Tratado de Cooperación de la Amazonía. Brasil.
- **Luiz C Galvao.** Organización Panamericana de Salud (OPS)
- **Mabel Font Aranda.** Centro de Estudios de Turismo. Universidad de Matanzas. Cuba.
- **Maria Barberá Riera.** Generalitat Valenciana. España.
- **María Elisa Gómez Campoy.** Región de Murcia. España.
- **María Isabel Abad Sanz.** Comunidad de Madrid. España.
- **Montserrat González-Estecha.** Hospital Clínico San Carlos. Madrid. España
- **Óscar Tarragó.** Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Estados Unidos.
- **Rosalía Fernández Patier.** Instituto de Salud Carlos III. España.
- **Sandra López-Carreras.** Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Estados Unidos.
- **Susana I. García.** Ministerio de Salud de la Nación de Argentina.
- **Silvia Suárez Luque.** Xunta de Galicia. España.

Colaboradores

- **Ana Fresno Ruiz.** Ministerio de Agricultura, Medio Ambiente y Alimentación. España.
- **Ana Salinas Avellaneda.** Gobierno Vasco. España.
- **Ángel Gómez Amorín.** Xunta de Galicia. España.
- **Antonio López Lafuente.** Universidad Complutense de Madrid. España.
- **Covadonga Caballo Diéguez.** Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. España.
- **Enrique Estrada Vélez.** Junta de Castilla y León. España.
- **Fernando Escorza Muñoz.** La Rioja. España.
- **Guadalupe Martínez Juárez.** Junta de Comunidades de Castilla la Mancha. España.
- **Isabel Marín Rodríguez.** Junta de Andalucía. España.
- **Macrina María Martín Delgado.** Gobierno de Canarias. España.
- **María Jesús Pérez Pérez.** Principado de Asturias. España.
- **María Luisa Pita Toledo.** Gobierno de Canarias. España.
- **María Martínez López.** Región de Murcia. España.
- **María Tarancón Estrada.** Junta de Andalucía. España.
- **Maria Teresa Martín Zuriaga.** Gobierno de Aragón. España.
- **Marian Lumbreras Fernández de Nograro.** Cantabria. España.
- **Mercedes Gumá Torá.** Gobierno de las Islas Baleares. España.
- **Rebeca Benarroch Benarroch.** Gobierno de Ceuta. España.
- **Ricardo Iglesias García.** Ayuntamiento de Madrid. España.
- **Saúl García dos Santos.** Instituto de Salud Carlos III. España.

Director de la serie

- **José Jesús Guillén Pérez.**

Agradecimientos:

Los editores de este libro quieren mostrar su enorme agradecimiento a todos cuantos han colaborado en su elaboración. En primer lugar a los autores de los textos del epígrafe 4.2 y a los revisores y expertos consultados que no se han limitado a dar el visto bueno, sino que han dedicado desinteresadamente una parte importante de su tiempo para la mejora sustancial del resultado final. A todos los colaboradores que en el marco de SESA (Junta Directiva y Delegados Territoriales) se han implicado y han conseguido implicar a un buen número de profesionales de la salud ambiental. También hay que agradecer la colaboración involuntaria pero imprescindible de todos los profesionales que contribuyen a que exista información espacial de salud ambiental de calidad, tanto en el campo de la salud ambiental como en el de la epidemiología o la promoción de la salud, disciplinas todas ellas que componen el, tantas veces infravalorado, mundo de la salud pública. Especialmente este agradecimiento se tiene que centrar en los profesionales de la salud pública de la Comunidad de Madrid sin cuya anónima contribución no habría sido posible elaborar la mayoría de los mapas que ilustran este libro.

Advertencia:

Los datos de mapas, tablas y figuras originales que se incluyen en este libro, salvo los del epígrafe 4.2, no se refieren a casos concretos reales y se utilizan a modo de ejemplo para facilitar la comprensión de los procedimientos SIG que se proponen.

Índice

Abreviaturas, siglas y acrónimos utilizados	13
Introducción	17
PARTE PRIMERA. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	25
Capítulo 1. Captura, almacenamiento y gestión de información espacial en un sistema de información geográfica	27
1.1. Sobre las características geométricas de la información espacial	29
1.2. La información espacial en los sistemas de información geográfica	32
1.2.1. Calidad e interoperabilidad	32
1.2.2. Digitalización y procedimientos de referenciación geográfica	34
1.2.3. Dualidad del dato geográfico	38
1.2.4. Organización de la información en capas	40
1.2.5. Visores cartográficos: SIG distribuidos	41
1.2.6. Protección de datos e información espacial	43
Capítulo 2. Representación cartográfica	49
2.1. Señas de identidad de los mapas	51
2.2. Interpretación de mapas temáticos	52
2.2.1. Individuos de observación y variables representadas	52
2.2.2. Falacias cartográficas	61
Capítulo 3. Análisis espacial	63
3.1. Mapas de puntos	65
3.2. Mapas de líneas	73
3.3. Mapas de polígonos	76
3.4. Superposición de capas	81
PARTE SEGUNDA. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA A LA SALUD AMBIENTAL	87
Capítulo 4. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica a la salud ambiental	89
4.1. Revisión de estudios de salud ambiental que utilizan sistemas de información geográfica	92
4.1.1. Diagnóstico y vigilancia de riesgos asociados a aguas de abastecimiento	92
4.1.2. Vigilancia de riesgos de enfermedades y brotes de probable origen ambiental	98
4.1.3. Evaluación de impactos ambientales	108
4.1.4. Adaptación al cambio climático	114
4.1.5. Desigualdades territoriales en salud	118
4.1.6. La exposición a contaminantes atmosféricos	127
4.2. Estudios originales de salud ambiental que utilizan sistemas de informa-	

ción geográfica.....	142
4.2.1. El Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC). España.....	142
4.2.2. Territorio, salud ambiental y desigualdades sociales en “sitios contaminados”. Estratificación epidemiológica y expresiones territoriales de los riesgos. Argentina.....	150
4.2.3. Prevalencia de síntomas de asma y alergia en los escolares de las poblaciones cercanas al complejo químico de Tarragona. España.....	158
4.2.4. El Plan Operativo de Intervención Industrial y sus efectos en la morbimortalidad de la ciudad de Cartagena. España.....	164
4.2.5. Utilización de un SIG en el estudio de riesgo, como base para la implementación de un sistema de vigilancia epidemiológica para la contaminación atmosférica. Regla, La Habana. Cuba.....	171
4.2.6. Uso de herramientas de SIG y teledetección en el análisis de clima y salud: Un ejemplo de malaria en la cuenca del río Purus. Brasil..	179
4.2.7. Prevención y control de plagas y gestión de riesgos vectoriales en la ciudad de Madrid. España.....	186
4.2.8. Aplicación de los sistemas de información geográfica en la vigilancia y el control en el ámbito de la sanidad ambiental en el Servicio Regional en Girona de la Agencia de Salud Pública de Catalunya. España.....	196
4.2.9. Exposición comunitaria a pentaclorofenol en las proximidades de una planta de tratamiento de maderas. East Point, Georgia. Estados Unidos.....	206
Conclusiones.....	215
Anexos.....	221
Anexo 1. Glosario de términos geográficos.....	223
Anexo 2. Programas disponibles.....	231
2.1. Programas comerciales.....	232
2.2. Programas libres.....	233
Anexo 3. Guía para elaboración de visores cartográficos en salud pública.....	235
3.1. Capas de información. Estructura de la información espacial para la salud pública.....	235
3.2. Herramientas.....	238
3.3. Diseño.....	239
Referencias bibliográficas.....	241
Índice de tablas.....	249
Índice de figuras.....	251

Abreviaturas, siglas y acrónimos utilizados

AB:	Asma bronquial.
ACA:	Agencia Catalana del Agua.
AEMA:	Agencia Europea de Medio Ambiente.
AeS:	Atlas electrónico de Salud de Catalunya. (España)
ANA:	Agencia Nacional de Aguas de Brasil.
ASPC:	Agencia de Salud Pública de Catalunya. (España)
ASTER:	Instrumento de captación de imágenes a bordo del satélite Terra de la NASA. (Siglas en inglés)
ATLANTIS:	Sistema de información geográfica de calidad sanitaria de las aguas de España.
ATSDR:	Agencia para las sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (USA). (Siglas en inglés)
BLL:	Nivel de plomo en sangre. (Siglas en inglés)
BOE:	Boletín Oficial del Estado (España)
CAPV:	Comunidad Autónoma del País Vasco. (España)
CCD:	Índice utilizado para estimar la intensidad de la precipitación. (Siglas en inglés)
CDC:	Centros para el control y prevención de enfermedades (USA). (Siglas en inglés)
CENATOXA:	Centro de asesoramiento toxicológico analítico de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires.
CIE:	Clasificación Internacional de Enfermedades.
CIE-9:	9ª revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades.
CJS:	Centro joven de salud.
CMA:	Concentración máxima admisible.
CMBD:	Conjunto mínimo básico de datos al alta hospitalaria.
CMR:	Cuenca del Río Matanza-Riachuelo (Argentina).
CREAF:	Centro de investigación ecológica y aplicaciones forestales. Catalunya. (España) (Siglas en catalán)
CREAL:	Centro de investigación en epidemiología ambiental. Catalunya. (España) (Siglas en catalán)
DRAE:	Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua.
EAE:	Evaluación ambiental estratégica.
EER:	Estratificación epidemiológica de riesgo.
EGS:	Entidades gestoras de suministro de agua.
EIA:	Evaluación de impacto ambiental.
EMECAM:	Estudio Multicéntrico Español de Contaminación Atmosférica y Mortalidad.
EMECAS:	Estudio Multicéntrico sobre los Efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud
EOS:	Sistema de observación de la Tierra de la NASA. (Siglas en inglés)
EPER:	Registro europeo de emisión de contaminantes. (Siglas en inglés)
EPOC:	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
FEV:	Volumen espirado forzado.
FIOCRUZ:	Fundación Oswaldo Cruz (Brasil).

FVC:	Capacidad vital forzada.
GAM:	Modelos aditivos generalizados.
GIMMS:	Inventario global de sistemas de modelización y cartografía. (Siglas en inglés)
GIP:	Gestión integrada de plagas.
GIS:	Sistemas de información geográfica. (Siglas en inglés)
GLFC:	Centro para el estudio de usos del suelo a partir de imágenes de satélites. (Siglas en inglés)
GPS:	Sistema global de localización. (Siglas en inglés)
HIDROWEB:	Sistema de Informaciones hidrológicas de Brasil.
IC:	Intervalo de confianza.
ICC:	Instituto Cartográfico de Catalunya. (España)
ICS:	Índice compuesto de salud.
IDE:	Infraestructuras de datos espaciales.
IDW:	Ponderación por el inverso de la distancia.
INE:	Instituto Nacional de Estadística (España)
INPE:	Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil. (Siglas en portugués)
INSPIRE:	Infraestructura para la información espacial en Europa. (Acrónimo en inglés)
IPCC:	Grupo intergubernamental para el cambio climático. (Siglas en inglés)
ISAAC:	Estudio internacional de asma y alergias en la infancia. (Siglas en inglés)
LSOA:	Jerarquía geográfica diseñada para optimizar las estadísticas en áreas pequeñas en Inglaterra y Gales. (Siglas en inglés)
LST:	Temperatura de la superficie del suelo. (Siglas en inglés)
MEDEA:	Acción estratégica de investigación en epidemiología y salud pública que tiene por objetivo analizar las desigualdades socioeconómicas y medioambientales en áreas pequeñas de ciudades de España y de Europa.
MMSE:	Mini examen del estado mental de Folstein. (Siglas en inglés)
MODIS:	Instrumento de captación de imágenes a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA. (Siglas en inglés)
MSN:	Ministerio de Salud de la Nación (Argentina).
NASA:	Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio (USA). (Siglas en inglés)
NAYADE:	Sistema de información nacional de aguas de baño (España).
NBI:	Necesidades básicas insatisfechas.
NCEH:	Centro Nacional para la Salud Ambiental de los CDC (USA). (Siglas en inglés)
NCGIA:	Centro Nacional de Información y Análisis Geográfico (USA). (Siglas en inglés)
NDVI:	Índice normalizado de cambio en la vegetación.
NESDIS:	Servicio nacional de satélites, datos e información ambiental (USA).
ODBC:	Estándar de acceso a las bases de datos. (Siglas en inglés)
OGC:	Consorcio creado para el desarrollo de estándares que faciliten la interoperabilidad de la información espacial a escala global. (Siglas en inglés)

OMM:	Organización Meteorológica Mundial.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
OPS:	Organización Panamericana de Salud.
PCF:	Pentaclorofenol.
PDA:	Ordenador de bolsillo. (Siglas en inglés)
PHA:	Evaluación de salud pública. (Siglas en inglés)
PM:	Puntos de muestreo.
PNUMA:	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PPGIS:	Sistemas de información geográfica con participación de la población. (Siglas en inglés)
PTS:	Partículas totales en suspensión
Rc:	Razón de circularidad.
RECONO:	Reconocimiento y codificación de direcciones postales.
RPTR:	Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. (Siglas en inglés)
RR:	Riesgo relativo.
SESA:	Sociedad Española de Sanidad Ambiental.
SGBD:	Sistemas de gestión de bases de datos espaciales o geográficas.
SIG:	Sistemas de Información Geográfica.
SINAC:	Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (España).
SIVEP-Malária:	Sistema de información de vigilancia epidemiológica – Notificación de Casos de Malaria (Brasil)
SVS/MS:	Secretaría de Vigilancia en Salud, del Ministerio de la Salud de Brasil.
TRI:	Inventario de emisiones tóxicas. (Siglas en inglés)
UCLA:	Universidad de California, Los Ángeles (USA). (Siglas en inglés)
UNICEF:	Fundación para la infancia de las Naciones Unidas. (Siglas en inglés)
USA:	Estados Unidos de América. (Siglas en inglés)
UTCV:	Unidad técnica de control de vectores.
UTM:	Proyección universal transversal de Mercator
VAG:	Red de vigilancia de la atmósfera global de la OMM
VP:	Valor paramétrico
ZA:	Zona de Abastecimiento

Introducción

Dice un editorial de *Nature*¹ que “puede parecer imposible perderse en un mundo moderno lleno de mapas digitales, pero hay más de una forma de estar perdido. Saber realmente dónde estás va mucho más allá de localizar tu posición. Significa conocer de dónde proviene el agua que consumes y a dónde va después, dónde se genera la electricidad que utilizas y dónde termina tu basura. Significa ser consciente de qué plantas y animales viven en tu entorno y qué tipo de suelo hay debajo de tus pies”.ⁱ

A esta aseveración se podría añadir que para un trabajador de la salud pública, saber dónde está significa también conocer cuál es el patrón geográfico que adopta el estado de salud de la población en su territorio, saber cómo se distribuyen en él los grupos vulnerables y qué comportamiento espacial tienen las enfermedades y los determinantes para la salud. Y que sin este conocimiento espacial de la realidad difícilmente podrá ejercer su función con eficacia.

La exposición humana a agentes ambientales es el centro de interés de una forma u otra del trabajo en salud ambiental. Ya se trate de la vigilancia, evaluación o control de una exposición, sea esta real o potencial, se deben estudiar las relaciones que se producen en el espacio y en el tiempo entre un teórico punto o zona donde se producen las emisiones de esos agentes ambientales y los puntos o zonas en las que habita, trabaja, vive la población. Porque la vigilancia de riesgos ambientales para la salud es la vigilancia o evaluación continua de la exposición de la población a determinados riesgos ambientales, y esta exposición se produce necesariamente en un determinado contexto espacial y temporal.

Por ello, y tanto en la descripción como en el análisis, en salud ambiental se necesita casi ineludiblemente de imágenes que representen y expliquen la relación espacio-temporal: mapas, planos, esquemas, perfiles, bloques diagramas, modelos digitales del terreno, dibujos, fotografías verticales, ‘imágenes’ digitales remotas, etc. En definitiva, siempre ha necesitado de una herramienta básica: la cartografía, que se define como el conjunto de operaciones que intervienen en la elaboración de los mapas.

Sin ánimo de ser exhaustivos y solo para enfatizar la importancia intrínseca de la relación entre territorio y salud, se recogen a continuación varios ejemplos en los que el territorio se ha considerado con una especial relevancia en relación a la salud: la época hipocrática, las topografías médicas, el brote de cólera del año 1854 en Londres y los diagnósticos de salud ambiental llevados a cabo en la Comunidad de Madrid en la década de los 80-90 del siglo pasado.

^{i.} It might seem impossible to get lost in the modern world with its ubiquity of digital maps, but there is more than one way to be lost. Truly knowing where you are goes beyond pinpointing your position. It means knowing where your water comes from and where it goes, where your electricity is generated and where your rubbish ends up. It means being aware of what plants and animals live nearby and what kind of soil lies beneath your feet. *Nature*. 2011 Aug 24;476(7361):371.

A.- Etapa hipocrática

Hipócrates (siglo IV a.C.) en su tratado *De los aires, las aguas y los lugares* reconocía que había enfermedades que siempre estaban presentes en una población y las llamó *endémicas* en contraposición a las enfermedades que no estaban presentes de continuo pero que emergían en el tiempo con alta afectación en la población, a las que llamó *epidémicas*. El tratado intenta responder a la pregunta: ¿Cuáles son los factores de riesgo de las enfermedades endémicas locales? En los primeros párrafos presenta y resume los factores esenciales: clima, suelo, agua, modo de vida y nutrición².

De los aires, las aguas y los lugares no es solo un tratado teórico, también tiene una intención práctica. La política expansionista y colonizadora seguida por los griegos promovió el establecimiento de nuevos asentamientos. La elección de los mismos no solo debía cumplir con criterios militares y religiosos sino también de salubridad, y en este último aspecto el citado tratado jugaba un papel de ayuda fundamental.

B.- Camino de las topografías médicas

El Renacimiento trajo una “auténtica sed de novedad y experiencia que invadió las almas europeas”, lo que permitió avanzar más allá de las teorías de Hipócrates y Galeno, que venían marcando la forma de entender y abordar la enfermedad².

Posteriormente, uno de los más destacados clínicos de todos los tiempos, eminente práctico de Londres, amigo del filósofo John Locke y del científico Robert Boyle, Thomas Sydenham (1624-1689) que ha sido llamado el “Hipócrates inglés”³ resucita y moderniza el concepto hipocrático de “constitución epidémica” y, a su vez, estudia en Londres la relación entre las epidemias que se habían producido entre los años 1661 y 1676 en relación al clima. Clasifica las enfermedades en cuatro tipos: epidémica, intercurrente, estacional y anómala; dos de ellas tienen una relación con el territorio: las epidémicas que están determinadas por una alteración secreta o inexplicable de la atmósfera y las estacionarias que proceden de una oculta e inexplicable alteración acaecida en las entrañas mismas de la tierra³.

Desde Sydenham la medicina europea del siglo XVIII renovará la tradición hipocrática dando origen a una corriente higienista que prestará una singular atención al medio natural y su posible relación con las enfermedades³.

El siglo XVIII es crucial en la historia de la salud pública europea merced a la confluencia de tres factores: el auge económico (mercantilismo); la casi desaparición de las epidemias de peste, que permite centrar la atención en el fenómeno de las endemias y de las tercianas propias del paludismo; y la configuración de una mentalidad “ilustrada”, sensible a unos problemas humanos que se ven agravados con la supervivencia del “Antiguo Régimen”².

En este contexto de estrecha relación entre actividad económica, vida urbana y

mentalidad ilustrada, la recurrencia de las endemias palúdicas exigirá una especial atención, que encontrará en el ambientalismo neohipocrático una explicación científica: la teoría miasmático-telúrica. Esta explicación se complementa con la interpretación social, que destaca las consecuencias negativas de las difíciles condiciones de vida, y la práctica sanitaria de la administración pública, encaminada a “sanear” y “limpiar” los entornos causantes de estas fiebres. Ello explica el florecimiento de las Topografías Médicas como método de investigación para estudiar los problemas comunitarios de salud pública^{2,4}.

Este desarrollo fue más marcado al principio en los países de habla alemana y después apareció en Inglaterra, Francia, Italia, España y otros países europeos, así como en el Nuevo Mundo. Varios factores estuvieron implicados en el proceso, entre ellos los políticos.

Como resultado de todo ello, los informes regionales o topografías médicas comenzaron a aparecer. En la Europa Central estas monografías fueron preparadas por los médicos como parte de sus obligaciones. El oficial médico de los Estados Alemanes venía obligado a visitar los pueblos y ciudades de su distrito para examinar las fuentes de agua mineral y lugares regados, supervisar las farmacias, cirujanos, comadronas, etc., para combatir el intrusismo y proveer de cuidados médicos a los necesitados. Los oficiales médicos eran instruidos para preparar estos informes en sus distritos en materias como condiciones de salud, datos meteorológicos e hidrológicos, plantas y modo de vida de sus habitantes^{2,4}.

La tendencia a realizar topografías médicas creció con la publicación del primer volumen *System* (1779) de Johan Peter Frank.

Todas estas topografías tratan con la geografía física y la historia natural de la región: alimentación, vivienda y vestido de los habitantes, y la relación de estos factores con la ocurrencia de las enfermedades ocasionales, endémicas o epidémicas. En 1830, por ejemplo, un comité de la Sociedad Médica del Estado de Nueva York propuso un plan de “Estudio Médico Topográfico del Estado” y señalaba que el objetivo de la topografía médica era “determinar la influencia del clima, suelo, diferentes ocupaciones, y las causas normales y físicas en la producción y modificación de enfermedades”, y la atención debía ser dirigida a la edad, sexo, constitución, ocupación, dieta y aquellas más fácilmente afectables por las enfermedades endémicas o epidémicas. Las topografías son una combinación de estudios epidemiológicos, sanitarios y sociales⁴.

En España, fue Gaspar Casal uno de los seguidores más aventajados de la obra de Sydenham y la tradición hipocrática. Su *Historia Natural y Médica de Asturias* (1762), integrada en esta tradición de las historias naturales, señala la atención que los médicos deben prestar al entorno físico y son el prelude de las topografías médicas del siglo XIX. En el prólogo de esta *Historia*, Casal destaca que desde 1706 a 1712, trabajó en estrecha colaboración con el boticario Juan Manuel Rodríguez de Luna, quien entonces vivía en Atienza y antes había estado largo tiempo en Roma al servicio del papa Inocencio XI. De este boticario aprendió aquellos aspectos del medio que le permitieron

entender el entorno físico con una dimensión sanitaria. De los seis textos que constituyen la *Historia*, la primera de ellas es un estudio médico del ambiente de la región, de acuerdo con las pautas propias del ecologismo hipocrático, seguido de una noticia de las “principales enfermedades endémicas” en ella. Se ocupa de las “situaciones de los pueblos” desde el punto de vista de la salubridad, de las “aguas” y de la “atmósfera”, “vientos” y “clima” y ofrece apuntes muy breves sobre minerales y vegetales⁴.

C.- El brote de cólera de Londres. John Snow

Algunos autores atribuyen a John Snow la paternidad de la epidemiología moderna, cifrando el nacimiento de la misma con la investigación que llevó a cabo sobre la epidemia de cólera en Londres, en el año 1854. La etiología microbiológica de la enfermedad, *Vibrio cholerae*, era desconocida para Snow por la época⁵.

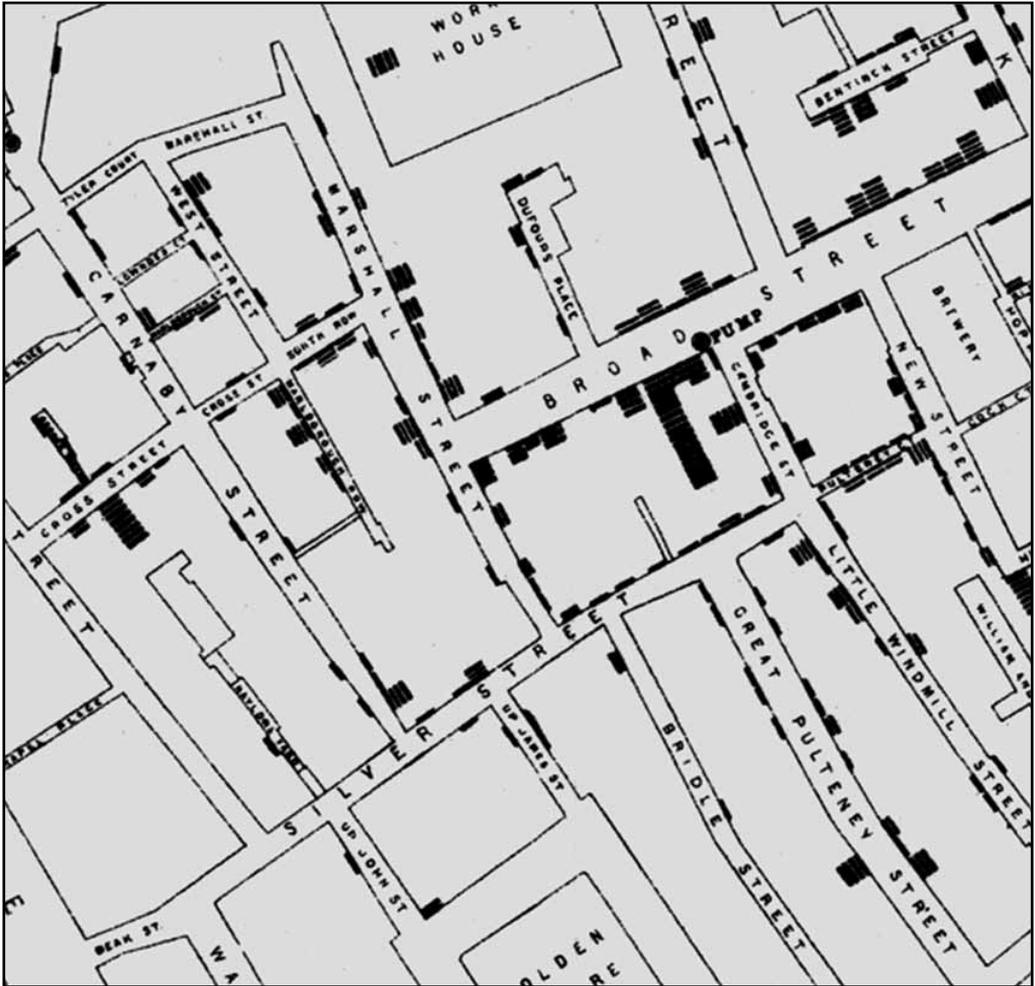
Aunque Snow no usó una definición de caso microbiológicamente confirmado, la muerte por diarrea acuosa era una definición de caso razonable para el cólera. La descripción de la epidemia hecha por Snow resulta muy ilustrativa: “la epidemia más terrible de cólera que ha existido en este reino, es probablemente la que tuvo lugar en la calle Broad, Golden Square y las calles contiguas, hace unas semanas. En doscientas cincuenta yardas desde el lugar donde la calle Cambridge se une con la calle Broad, hubo en diez días más de quinientos ataques fatales de cólera. La mortalidad en esta limitada área probablemente iguala a cualquiera de las epidemias alguna vez causadas en este país, aún por la plaga [peste], y fue mucho más repentina, con un gran número de casos fatales en pocas horas”⁶.

Siguiendo un todavía incipiente método epidemiológico creó un listado de los pacientes casos incluyendo edad, género y dirección de cada uno. Estos casos fueron referenciados en un mapa y se observó que ocurrieron en las proximidades de una bomba de agua en la calle Broad. Lo explica Snow con una gran nitidez:

“Al proceder al sitio, encontré que casi todas las muertes habían tenido lugar a una distancia corta de la bomba de agua. Había solo diez muertes en casas situadas indudablemente más cerca de una bomba de agua de otra calle. En cinco de estos casos, las familias de las personas muertas me informaron que ellos siempre iban a por agua a la bomba de la calle Broad porque preferían el agua de allí; en tres casos, los muertos eran niños que iban a la escuela cerca de la bomba de la calle Broad. Posteriormente se supo que dos de ellos bebieron esa agua y los padres del tercero, piensan que era muy probable”⁷.

Los mapas que utilizó John Snow son un clásico de la representación de la distribución de la mortalidad sobre el territorio. El territorio, en este caso urbano de un barrio de una gran ciudad como Londres, es trasladado al mapa y marca un punto de inflexión en la utilización de esta herramienta, la cartografía, en la salud pública. El territorio, y el mapa que lo representa, cobran carta de naturaleza como herramientas de análisis⁷ (Ver Figura 1).

Figura 1. Mapa original de John Snow. Fuentes de agua y casos de cólera durante la epidemia en Londres de 1854



Fuente: Department of Epidemiology. School of Public Health. UCLA⁷: Map 1. Published by C.F. Cheffins, Lith, Southampton Buildings, London, England, 1854 en Snow, John. On the Mode of Communication of Cholera, 2nd Ed, John Churchill, New Burlington Street, London, England, 1855

El método epidemiológico contempla tres variables imprescindibles: persona, lugar y tiempo. El lugar puede ser un edificio, un barrio de una ciudad, una ciudad entera o un país, pero en cualquier caso, siempre habrá que delimitar un área geográfica donde ocurre el evento que se pretende analizar. Desde el punto de vista epidemiológico se suele emplear una zonificación del territorio siguiendo las demarcaciones sanitarias que se hayan previamente establecido. Los clásicos mapas utilizados en tiempos pretéritos han dado paso a la utilización de sistemas de información geográfica abriendo la puerta a un análisis mucho más sofisticado y concienzudo del territorio como variable epidemiológica⁸.

D.- Los diagnósticos de salud ambiental

La década de los 80 del siglo pasado arrancó en España con un gran impulso vital. Se puede decir que todas las áreas de la política tenían prisa por recuperar los tiempos perdidos en los oscuros años de la dictadura. La sanidad, y dentro de ella, la salud pública, no fueron una excepción. Sobre todo la salud pública porque las competencias en esta materia residían fundamentalmente en los ayuntamientos (las comunidades autónomas comenzaban a recibir las transferencias) y estos ayuntamientos democráticos despertaban del letargo autoritario desplegando gran interés en todos los ámbitos pero sobre todo ponían el énfasis en los temas sociales.

El informe Lalonde (1974) volvía a poner el territorio, como expresión del medio ambiente, en el candelero de la salud, al identificarlo como uno de los cuatro determinantes de la misma⁹.

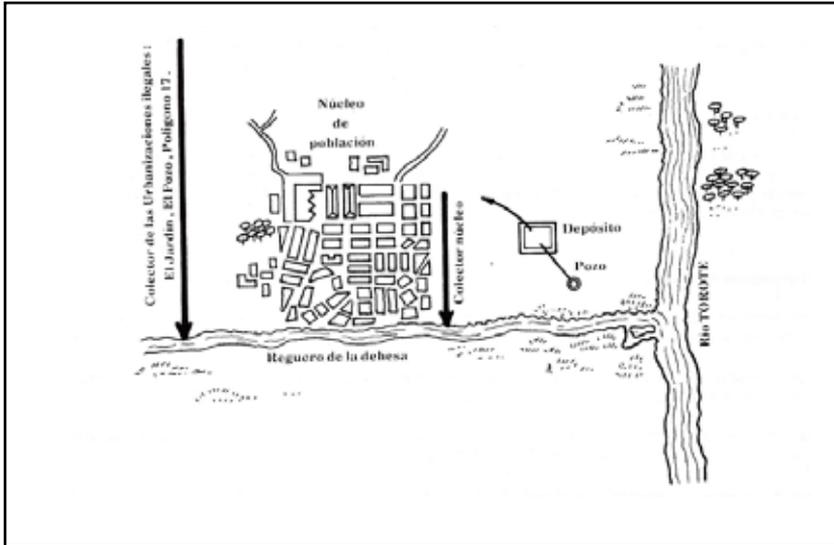
El territorio de la época de las topografías médicas o “constituciones epidémicas” como conjunto de elementos propios de un lugar que podrían explicar las enfermedades endémicas, había declinado con la aparición de la microbiología ⁶. Sin embargo el entorno comenzó a verse desde otro punto de vista. De la imagen de un espacio natural donde eran las condiciones propias del mismo las causantes o contribuyentes de las enfermedades, se había pasado a un territorio tremendamente modificado; de ello se había encargado la revolución industrial que había actuado sobre el mismo acercando las viviendas (sobre todo las más humildes) a las fábricas y a las infraestructuras sanitarias. Ilustrar esta situación era el objeto de algunos salubristas para poner en evidencia el urbanismo descarnado y los factores de riesgo de origen ambiental que afectaba a la población con el fin de influir en los Planes Generales de Ordenación Urbana y poner en marcha un Programa de Salud Ambiental¹⁰.

Uno de los métodos de trabajo que se utilizaron fueron los diagnósticos de salud ambiental. A ello contribuyó la Organización Mundial de la Salud con la publicación de un documento que fue profusamente utilizado: Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelo¹¹.

Tras algunos ayuntamientos pioneros como Leganés, Aranjuez, Parla, Ciempozuelos y Pinto, la Comunidad de Madrid continuó trabajando con esta metodología. Sin haberse todavía constituido las Áreas de Salud, se realizaron los diagnósticos de salud ambiental en todo el territorio periurbano que se plasmaron en 6 volúmenes. La organización de los diagnósticos seguía una estructura prefijada: medio físico, medio social, contaminación del agua, contaminación atmosférica, contaminación del suelo, higiene animal y enfermedades de declaración obligatoria como indicadores de la higiene del medio ¹¹.

El análisis de los riesgos ambientales quedaba reflejado en forma de tablas, gráficos y mapas, estos a veces superpuestos, lo que posibilitaba identificar de forma precisa los riesgos ambientales y las poblaciones potencialmente más afectadas (ver Figura 2).

Figura 2. Esquema del abastecimiento y saneamiento de un municipio rural de la Comunidad de Madrid



Fuente: Segura J et al, 1990

El ingente esfuerzo desplegado sirvió para ir articulando las Áreas de Salud que posteriormente fueron constituidas como unidades de acción de la política de salud pública de la Comunidad de Madrid.

Con estos ejemplos del pasado más o menos remoto se pone en evidencia que el territorio tiene una relevancia decisiva en la definición del estado de salud de las comunidades, mucho antes de que la tecnología de los sistemas de información geográfica haya venido a facilitar el trabajo.

Son precisamente estas posibilidades que presentan las nuevas tecnologías las que centran el interés de esta obra que se ha estructurado en dos grandes apartados. El primer gran bloque está centrado en una introducción teórica somera acerca de la información espacial, de la representación cartográfica y del análisis espacial; de sus características, posibilidades y limitaciones. Son temas enormemente amplios que han planteado el problema de cómo abordarlos: puesto que los destinatarios del libro no tienen porqué ser expertos en estas disciplinas, no se podían obviar y dar por supuestos sus contenidos. Pero, precisamente por esa misma razón, tampoco se ha querido profundizar demasiado en ellos para no correr el riesgo de que el lector no llegue a la parte más sustanciosa (desde la perspectiva de los autores y editores) que es el segundo bloque, el dedicado a la aplicación práctica en salud ambiental de la información espacial y las herramientas asociadas a ella. Esta segunda parte más 'útil' se estructura a su vez en dos apartados: una revisión bibliográfica de los trabajos más relevantes y recientes publicados, junto a las aportaciones de los autores/editores en determinados puntos en los que han intentado verter su experiencia y una serie de contribuciones específicamente elaboradas para este libro por un conjunto de autores destacados

expertos en salud ambiental. Con ambos apartados en su conjunto se ha querido perfilar el estado de la cuestión y, sobre todo, estimular y facilitar posibles líneas de trabajo para los profesionales de la salud ambiental del ámbito iberoamericano en sentido extenso.

El libro se completa con tres anexos. El anexo 1 es un glosario de términos geográficos que permite una más fácil lectura del cuerpo central de la obra. El anexo 2 repasa los programas y herramientas SIG disponibles y de uso más frecuente. Por último, el anexo 3 se centra en la elaboración de un visor (SIG distribuido) especialmente diseñado para la salud ambiental.

PARTE PRIMERA

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Capítulo 1. *Captura, almacenamiento y gestión de información espacial en un sistema de información geográfica*

Un sistema de información geográfica (SIG o GIS por sus siglas en inglés) es un “sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, almacenamiento, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión”¹²

En otras palabras, un SIG es una tecnología informática poderosa que permite ver y analizar grandes cantidades de información en un contexto geográfico¹³ y, además, permite generar nueva información a partir de un conjunto previo de datos mediante su manipulación y reelaboración^{14,15,16}.

Cada vez son más las posibilidades que ofrecen y, paralelamente, mayor el interés que despiertan los SIG porque son un conjunto de herramientas muy potentes que permiten abordar con una facilidad impensable hace algunas décadas, muchas de las cuestiones que se plantean cotidianamente a los profesionales de la salud ambiental y que tienen que ver con la evaluación, vigilancia y control de la exposición^{17,18,19,20}. En el último decenio ha crecido exponencialmente el número de análisis espaciales realizados sobre la relación entre la salud y el territorio^{21,22}.

Lo primero que hay que hacer para entender cómo funcionan y qué posibilidades concretas ofrecen es adentrarse en las especificidades, potencialidades y dificultades de la información que manejan los SIG.

1.1. Sobre las características geométricas de la información espacial

Por información espacial se entiende todo conjunto de datos georreferenciados, es decir, que contienen una referencia geográfica que los liga a un territorio específico, ya sea directamente mediante un sistema de coordenadas o indirectamente mediante su asociación a una entidad geográfica. De este modo, información espacial es un conjunto de puntos en los que se ha realizado un muestreo y de los que se dispone de coordenadas (X e Y o longitud y latitud), pero también es información espacial una tabla con la población por municipios pues estos son ya una referencia que se puede integrar en un conjunto de información espacial coherente. Esta localización o referencia espacial permite explorar y superponer datos, revelando tendencias que no son fácilmente evidentes en hojas de cálculo y paquetes estadísticos²³.

La referencia espacial está edificada sobre una base de relaciones geométricas, por lo que, aunque sea someramente, conviene detenerse en las características geométricas de los datos geográficos. Para que una referencia espacial sea útil debe permitir la representación simultánea de nuestra información con otra información que la contextualice desde el punto de vista territorial mediante un mapa. Detrás de la definición de mapa, adoptada por la Asociación Cartográfica Internacional como “una representación simbolizada de la realidad geográfica, representando unas entidades o características seleccionadas, producto del esfuerzo creativo que implican las elecciones realizadas por su autor y que está diseñado para usarse cuando las relaciones espaciales son de una relevancia fundamental”²⁴, se descubre que un mapa no es otra cosa

que un modelo convencional que se utiliza dentro de un proceso de comunicación cuyo mensaje son relaciones espaciales relevantes.

El primer paso para la realización de este modelo convencional de representación de la realidad incluye tres decisiones:

- Seleccionar los elementos de la realidad que se quieren representar, que sean pertinentes y relevantes para el mensaje que se pretende transmitir o para la investigación que se está abordando. Hay que tener en cuenta que los elementos que componen el mundo real son prácticamente infinitos, pero que muchos de ellos no deben ser representados en aras de la eficiencia y claridad del mensaje.
- Generalizar los elementos seleccionados para todo el territorio que se va a incluir en el mapa en su integridad.
- Y, sobre todo, definir la relación geométrica del mapa con la realidad. No obstante la importancia de este punto, hay que decir que los usuarios finales de la cartografía no intervienen directamente en esta decisión que es marcadamente de técnica cartográfica.

Los elementos que definen esta relación geométrica entre el mundo real y el mundo representado son básicamente tres²⁵:

- a. Proyección** de los elementos de la realidad desde su disposición en el geoide, forma de la tierra que se aproxima a una esfera y por tanto tridimensional, a un plano bidimensional en el que se ubican los elementos representados en el mapa.

No hay ninguna forma de realizar esta operación sin distorsionar en alguna medida las relaciones espaciales entre los elementos representados. Por ello, hay distintos tipos de proyecciones clasificados por la eficiencia en la representación de las magnitudes del mundo real y que depende del uso que se vaya a hacer del mapa. Estas magnitudes del mundo real son de tres tipos: distancia entre dos puntos, ángulo entre dos líneas cualesquiera y áreas de cualquier polígono. Así pues, se pueden encontrar proyecciones:

- Equidistantes, son las proyecciones que se preocupan sobre todo por mantener la veracidad de las distancias,
- Conformes, las que están más interesadas en la representación de ángulos, y las
- Equivalentes que fijan su objetivo en la fidelidad a la correspondencia de superficies.

“Cada tipo se emplea según las propiedades y relaciones que deben expresarse en el mapa; cuando interesa medir distancias desde un punto conviene usar una proyección equidistante; en las cartas de navegación es esencial medir ángulos y el sistema debe ser conforme; en un mapa temático de distribución superficial (número de hectáreas dedicadas a cualquier cultivo) es conveniente que la pro-

yección sea equivalente”²⁴

Si se clasifican por el procedimiento de proyección, se distinguen proyecciones directas de la esfera al plano o de desarrollo, con menos deformaciones pues se proyecta de la esfera a un cilindro o a un cono y luego este se desarrolla convirtiéndose en plano.

La proyección más utilizada, sobre todo en las latitudes medias, es la proyección Universal Transversal Mercator (UTM) basada en la proyección conforme y cilíndrica ideada por Kremer en el siglo XVI (Mercator es la traducción latina del apellido flamenco) y que utiliza un cilindro circunscrito al Ecuador. Esta proyección es mejorada posteriormente por los cartógrafos Gauss y Krüger mediante cilindros tangentes a un meridiano. Sobre esta base, a finales de los años 40 del siglo XX, se desarrolla la proyección UTM. En realidad no hay un único cilindro sino 60, separados entre sí 6°, lo que constituye un huso. En cada huso el meridiano origen y el Ecuador son las únicas rectas perpendiculares.

- b. Coordenadas.** Una vez realizada la proyección de la esfera al plano se precisa ubicar cada elemento en esa proyección, algo así como dar una señal inequívoca de identidad espacial a todos y cada uno de los elementos. Esto se consigue mediante un sistema de coordenadas que define las distancias desde cada punto a las líneas de referencia. En el caso de las coordenadas geográficas o esféricas, estas distancias se miden en grados, minutos y segundos al ecuador (latitud) o al meridiano de referencia (longitud). En el caso de las coordenadas proyectadas planas más utilizadas (proyección UTM –Universal Transversal Mercator) las distancias se miden en metros al Ecuador (coordenada Y) y al meridiano que define el límite occidental del huso de que se trate (coordenada X).

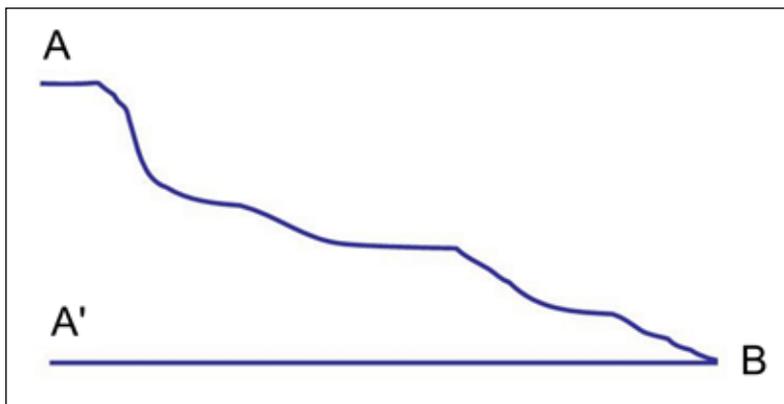
La tercera coordenada, la altitud (Z), es un atributo espacial fundamental, a partir de la cual se construyen los modelos digitales del terreno (herederos de los antiguos bloques-diagrama) que permiten generar y analizar representaciones tridimensionales de la superficie terrestre, algo fundamental para, por ejemplo, afinar en el conocimiento de los mecanismos de exposición de la población a contaminantes ambientales teniendo en cuenta los efectos barrera, las formas de cuencas naturales, las distancias reales aéreas, hidrológicas, etc.

Las tres coordenadas se obtienen de forma generalizada para todo el territorio a partir de las redes geodésicas (latitud y longitud) y ahora de la red de satélites de posicionamiento geográfico global (GPS por sus siglas en inglés, es el más desarrollado) y las redes de nivelación para la altitud.

- c. Escala.** La escala, que define la relación constante entre las medidas del mapa y sus correspondientes en la realidad, es el cociente entre la distancia entre dos puntos en el mapa y la distancia reducida entre los dos puntos correspondientes de la superficie terrestre. La distancia reducida no tiene en consideración la diferencia de altitud. En la Figura 3 la distancia entre A' y B (A' es la proyección en el plano horizontal del punto A) es la distancia reducida entre los puntos A y B de la

realidad. Esta distancia es la que se considera en la transformación de las medidas mediante la escala.

Figura 3. Distancia reducida



Fuente: elaboración propia

Se expresa en forma de fracción con valor 1 en el numerador y denominador normalmente múltiplo de 10, 100, 1000,..., por lo que una escala es mayor cuanto menor es el denominador. Se definen como de pequeña escala las inferiores a 1:100.000 y como de gran escala las superiores a 1:10.000. También se expresa en forma gráfica con muy diversos diseños de tal forma que se puede medir directamente en un mapa con las unidades correspondientes al mundo real sin hacer la transformación.

1.2. La información espacial en los sistemas de información geográfica

Una vez conocida la principal característica de toda información espacial, que es su 'verosimilitud' fundada en las relaciones geométricas con la realidad, es importante conocer las señas de identidad propias de la información espacial que se maneja en los sistemas de información geográfica y que hacen referencia a su fiabilidad y consistencia, a la versatilidad derivada de sus características específicas y de su estructura, así como a las posibilidades y limitaciones de uso que son inherentes al soporte electrónico.

1.2.1. Calidad e interoperabilidad

Entre las principales limitaciones de la información espacial, relacionada sobre todo con sus características geométricas, está la necesidad de poder disponer de información 'fiable', precisa, actualizada y oficial, es decir que esté disponible para que pueda ser utilizada con garantías por todos los usuarios y en contextos diversos.

Para asegurar la calidad e interoperabilidad de la información espacial surgió y se desarrolló el concepto de infraestructuras de datos espaciales (IDE), que en la Unión Europea se ha materializado en la iniciativa Infraestructure for Spatial Information in

Europe (INSPIRE) que derivó en la aprobación, por parte del Parlamento Europeo, de la Directiva INSPIRE²⁶ que está vigente desde mayo de 2007.

La Directiva establece un marco legal para la implementación y operación de una infraestructura de información espacial en la Unión Europea que debe estar basada a su vez en las IDE que crean y mantienen los Estados miembros. Los componentes de estas infraestructuras incluyen: metadatos, grupos temáticos de datos espaciales, servicios de datos espaciales (léase datos y herramientas que están disponibles en la red en formato de mapa digital), servicios y tecnologías en red, acuerdos de intercambio, acceso y uso de datos y servicios, mecanismos, procesos y procedimientos de coordinación y monitorización.

El objetivo es tener información espacial integrada y homogénea que ponga al alcance de todos la cartografía del territorio europeo, lo que facilitará combinar información y conocimientos del territorio procedentes de diferentes sectores y elaborados por distintas autoridades. La tarea, técnicamente inviable solo hace algunas décadas, es fruto del consenso y del acuerdo entre los Estados miembros para la distribución de su cartografía²⁷.

La Directiva define dato espacial, o información geográfica, como cualquier dato o información (al menos en formato digital) que tenga referencia directa o indirecta a una localización o área geográfica específica.

INSPIRE remarca el marco competencial de las administraciones en la generación de cartografía en cada Estado miembro: el dato “oficial” es el generado por la unidad administrativa competente en cada materia, que es la más cercana a esa realidad.

Los metadatos son básicos en la Directiva. El término metadatos se refiere a la información que describe detalladamente los conjuntos de datos y servicios de datos espaciales haciendo posible conocerlos, inventariarlos y utilizarlos de forma interrelacionada.

Tal como explica el geoportal sobre metadatos de información geográfica del Consejo Superior Geográfico español, “los metadatos dan respuestas a preguntas del tipo:

- El qué: título y descripción del conjunto de datos o del servicio.
- El cuándo: cuándo fue creado el conjunto de datos o el servicio y las distintas actualizaciones, si existen. También se puede indicar hasta cuándo es fiable ese conjunto de datos.
- El cómo: cómo se obtuvieron y procesaron los datos y cómo se puede acceder a ellos. En el caso de los metadatos de servicios se debe indicar cómo acceder o utilizar el servicio.
- El dónde: la zona o extensión geográfica que cubren los datos, basada en latitud/longitud, coordenadas x e y, o un área administrativa descrita por su nombre, resumen detallado de la finalidad, o propósito, para la que se ha generado el conjunto de datos o se ha creado el servicio”²⁸.

La Directiva concreta en sus anexos treinta y cuatro temas o conjuntos de datos espaciales a incluir en las IDE. Entre estos 34 grupos temáticos de datos espaciales figuran los relativos a “Seguridad y salud humana” que se definen²⁹ como (sic) “la distribución geográfica de las enfermedades (alergias, cáncer, enfermedades respiratorias, etc.), información de efectos sobre la salud (marcadores biológicos, declive de la fertilidad, epidemias) o el bienestar de los seres humanos (*cansancio, estrés, etc.*) vinculados con la calidad del medio ambiente tanto directa (*contaminación del aire, productos químicos, agotamiento de la capa de ozono, ruido, etc.*) como indirectamente (*alimentación, organismos modificados genéticamente, etc.*)”.

1.2.2. Digitalización y procedimientos de referenciación geográfica

En lo que se refiere a información espacial, se entiende por digitalización la operación de transformar un elemento espacial que se encuentra en formato analógico en un objeto manejable con herramientas y procedimientos informáticos. Diferentes orígenes de datos, diferentes procedimientos de digitalización o diferentes digitalizadores para los mismos elementos o para elementos espacialmente concurrentes pueden generar graves problemas de consistencia, haciendo inservibles grandes y valiosas colecciones de datos espaciales e inutilizando posibilidades elementales pero claves como la de medida de distancias o superposición de capas. Véase por ejemplo un área de gestión de salud pública que es parte de una ciudad, en concreto de un barrio dividido en secciones censales. Si a la hora de digitalizar la información, cada una por el organismo a quien corresponda, las fronteras no se ajustan entre sí (el límite de una sección censal es a su vez el límite entre barrios y entre zonas de salud) será dificultoso y más inexacto superponer la información entre ellas. Sirvan como prueba las imágenes de la Figura 4 en las que se observan dos errores de digitalización sacados de ejemplos reales. En el caso de la imagen **a**, remarcado con un círculo rojo, se trata de una captación de aguas de abastecimiento (azul oscuro) que aparece muy lejos del embalse donde se toman las aguas (azul claro). En la imagen **b**, por su parte, aparecen polígonos cuyas fronteras (líneas rojas y malvas), debiendo ser las mismas pues son polígonos de delimitaciones administrativas jerarquizadas, no coinciden.

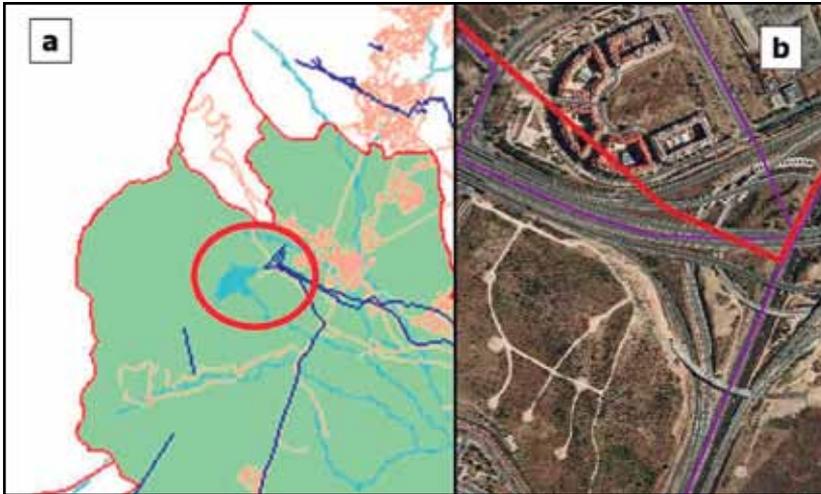
Hay numerosas herramientas que facilitan la corrección de estas anomalías, pero es preciso conocer el origen de los datos. Por eso son tan importantes iniciativas como la de INSPIRE que pueden contribuir a conocer mejor y controlar dichas inconsistencias por parte de los usuarios de datos espaciales procedentes de orígenes diversos.

Existen dos estrategias de digitalización de información geográfica que generan dos modelos de datos diferentes: el modelo ráster y el modelo vectorial.

Tal como se observa en la Figura 5, el modelo ráster interpreta el mundo real a través de una plantilla reticular, asignando a cada una de las unidades o píxeles (preferentemente cuadrados) que componen la retícula el valor dominante que le corresponde en el mundo real. El modelo ráster asigna valores a todo el territorio. Es el modelo que utilizan las imágenes de los satélites y el que utilizan las operaciones de estadística espacial que proporcionan un valor para cada punto del territorio. La preci-

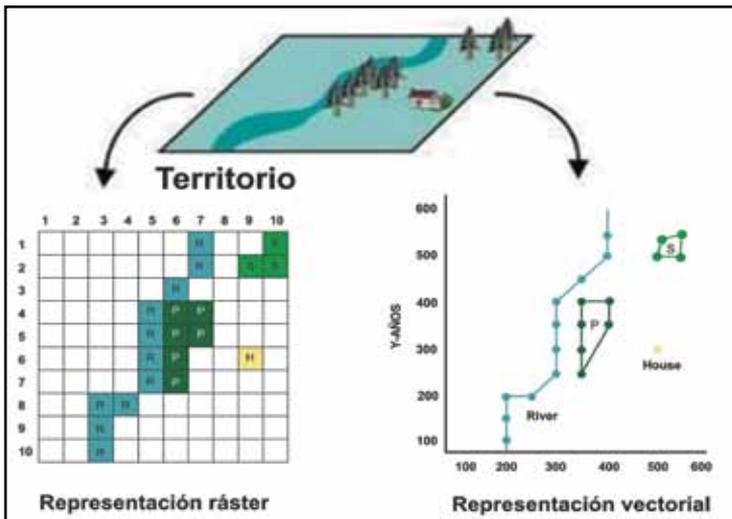
sión en este modelo viene dada por el tamaño del píxel: cuanto más pequeño sea, más homogéneo será el valor correspondiente del mundo real representado y por tanto se parecerá más la imagen a la realidad³¹.

Figura 4. Errores de digitalización



Fuente: elaboración propia

Figura 5. Modelos de datos



Fuente: NESDIS¹⁹

El modelo vectorial traduce la información del mundo real a puntos, aislados o asociados topológicamente con otros puntos para formar líneas que a su vez pueden asociarse entre sí y llegar a cerrarse en un polígono si el último punto de un elemento lineal coincide con el primero de otro. Se generan así los tres tipos de objetos espaciales en los que se traduce toda la información de un SIG: puntos, líneas y polígonos. Es

el modelo que se utiliza para la cartografía catastral donde los límites han de ser precisos y en la generación de objetos geográficos lineales o puntuales como el callejero. La mayor precisión en el modelo vectorial se obtiene con mayor densidad de puntos. Cuantos más puntos definan por ejemplo la curva de un río, más se parecerá este en el mapa al de la realidad que está representando.

Los dos modelos son complementarios. Históricamente el mayor problema que presentaban ambos, aunque especialmente el ráster, era el gran tamaño del archivo que requerían, mayor cuanto más precisos querían ser; pero este problema es menor con la capacidad de los equipos en la actualidad y la agilidad que ofrecen para procesar grandes volúmenes de información.

La georreferenciación es un aspecto clave en el trabajo de un profesional de la salud usuario de sistemas de información geográfica. Mientras que la digitalización y los modelos de datos generalmente vienen dados, la georreferenciación hay que trabajarla de una forma u otra. La georreferenciación consiste en asignar unas coordenadas, o una relación de pertenencia a una entidad espacial, a un conjunto de datos que carecen en principio de esa componente. Es decir que en definitiva lo que se persigue es integrar datos sin contenido espacial explícito en el modelo espacial que se está utilizando.

Para la obtención de coordenadas de puntos, convertibles como se ha visto, en líneas o en polígonos, hay procedimientos de georreferenciación directa con el uso de sistemas de posicionamiento global (el GPS de la NASA es el más extendido). Pero la mayor parte de las veces se hacen georreferenciaciones indirectas, bien obteniendo las coordenadas en un mapa (analógico o digital) de un punto localizado en el terreno y copiándolas al sistema que se vaya a utilizar o bien, lo más frecuente, utilizando como apoyo elementos ya georreferenciados como son las direcciones postales.

El proceso de georreferenciación de puntos es con frecuencia el proceso más costoso de todos los que se ponen en marcha para disponer de información espacial fiable y, además, es ineludible para disponer de la ubicación tanto de las fuentes de emisión de contaminantes como de los domicilios, colegios, lugares de ocio o trabajo de la población, es decir para completar el círculo de la cadena de exposición.

Kim et al³² establecieron tres niveles de geocodificación de direcciones postales de una muestra de 467.204 registros de nivel de plomo en sangre. La tabla siguiente sirve para ilustrar, por un lado, el tiempo que se emplea en este menester, nada desdeñable: cinco meses de trabajo de ocho horas diarias de un profesional entrenado. Por otro lado, a pesar de esa inversión de tiempo y trabajo no se llega a obtener ni el 70% de los registros incorporados al estudio.

Afortunadamente, cada vez son más rigurosos los registros en lo que a precisión de recogida de información se refiere y más herramientas, más rápidas y precisas están disponibles para mejorar estos resultados.

Tabla 1. Procesos de geocodificación en 18 condados de Carolina del Norte

Nivel de geocodificación	Descripción	Número de registros (1995-2003)	Porcentaje de registros sobre el total	Tiempo invertido
I	Coincidencia directa de la dirección registrada con los datos de referencia	170.277	30,4%	7-9 días
II	Coincidencia después de estandarizar la dirección	48.459	10,4%	20-22 días
III	Coincidencia mediante análisis visual	102.854	22,0%	90-120 días
Sin geocodificar	Resto sin geocodificar tras el III nivel	145.614	31,2%	-

Fuente: Kim et al. 2008 ²¹

Se puede aportar en este sentido una experiencia más de parte de los editores del presente libro. Durante los meses de junio a agosto de 2008, dos profesionales entrenados en procedimientos automáticos y manuales de geocodificación emplearon toda su jornada laboral en depurar las bases de datos del Conjunto Mínimo Básico de Datos al Alta Hospitalaria (CMBDⁱⁱ) de los hospitales de la región de Madrid correspondiente a los años 2003-2007. El trabajo se hizo a demanda del área de epidemiología de la Comunidad de Madrid para poder abordar posteriormente la cartografía de las principales causas de morbilidad en su territorio en el marco del informe del estado de salud de la población³³. Se georreferenciaron los domicilios de los pacientes en diversas etapas mediante aplicaciones específicas automáticas y semiautomáticas. Fundamentalmente, además de servicios de geocodificación propios a partir del callejero y portales de cada año, se utilizó la aplicación RECONO (Reconocimiento y Codificación de Direcciones Postales) del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid³⁴. En total, se trataron 4.071.566 registros de los cinco años, de los cuales se obtuvieron las coordenadas del 88% (3.588.254 registros).

ii. El CMBD es el sistema de registro de datos asistenciales por parte de los hospitales. Este trabajo se realizó en el marco de las actividades de la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid y no está publicado.

Otra medida indirecta de referenciación espacial de un conjunto de datos (o de un dato individual) es utilizar el atributo de pertenencia a una determinada entidad geográfica existente. No se obtendrán así las coordenadas de un punto, pero sí se le confiere al dato un valor espacial. De hecho, la mayoría de los datos contienen un componente geográfico que les permite ser ligados a una entidad espacial existente, ya sea de tipo administrativo, como una provincia, estado, distrito postal, sección censal, ya sea de tipo natural, como una cuenca hidrográfica, región natural, área bioclimática, llanura de inundación, etc. De esta forma, por ejemplo, una tabla de datos de calidad del agua superficial procedente de estaciones de muestreo situadas en embalses conocidos se convierte en información con contenido espacial aunque se desconozcan exactamente las coordenadas concretas de las estaciones. Así pues, sin caer en una excesiva exageración se puede decir que prácticamente todo conjunto de información es o puede ser susceptible de ser tratado como información geográfica y por tanto susceptible de ser analizado con lo que aporta ese valor añadido.

1.2.3. Dualidad del dato geográfico

Ya debe haber quedado suficientemente subrayado que lo que define y caracteriza la información espacial es su doble componente, espacial y temática, ambas interrelacionadas, accesibles de forma simultánea o exclusiva. La parte espacial hace referencia a un objeto espacial, elemento del mundo real localizado en el espacio y la parte temática es la que reúne las propiedades y atributos de ese objeto espacial, expresados de forma alfanumérica como en una tabla, base de datos u hoja de cálculo habitual. La forma de acceder a la información es por tanto doble y se pueden realizar preguntas desde esa doble óptica: ¿Cuáles son las entidades que cumplen unos determinados requisitos y dónde se encuentran? (Ver Figura 6)

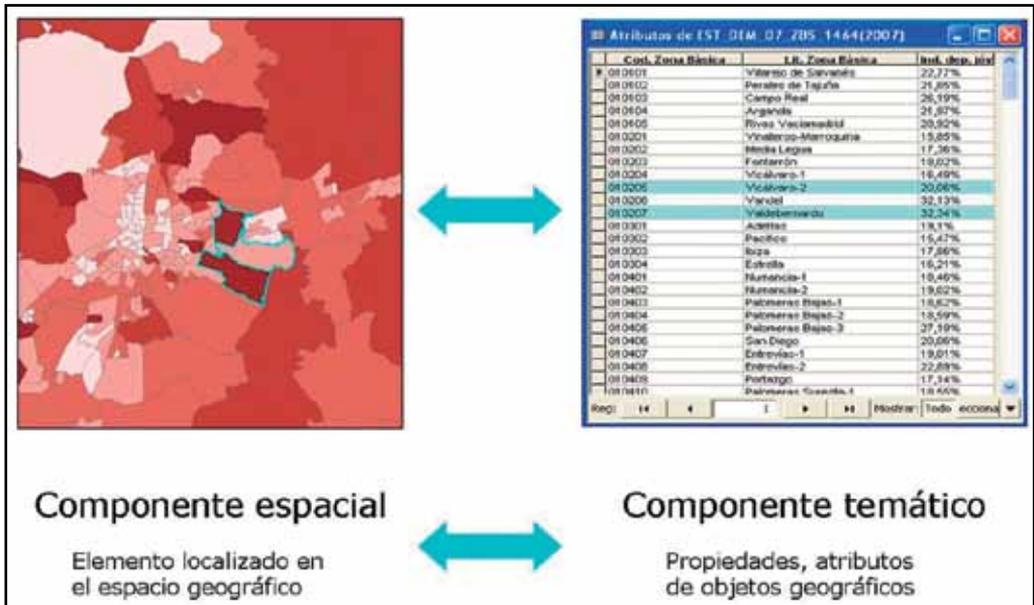
Se puede acceder a los atributos brutos y a las características de conjunto de la información. Por ejemplo a su distribución estadística: ¿cuál es la distribución estadística de una variable espacial y dónde aparecen los valores más altos? (Ver Figura 7)

La componente espacial es, a su vez, también doble. Hace alusión explícita a la localización absoluta referida a un determinado sistema de coordenadas y a la topología o localización relativa entre los diversos objetos espaciales integrados en el sistema: distancia, dirección, orientación, contigüidad, conectividad y pertenencia.

Como se verá más adelante, la dualidad del dato geográfico permite tres tipos de análisis:

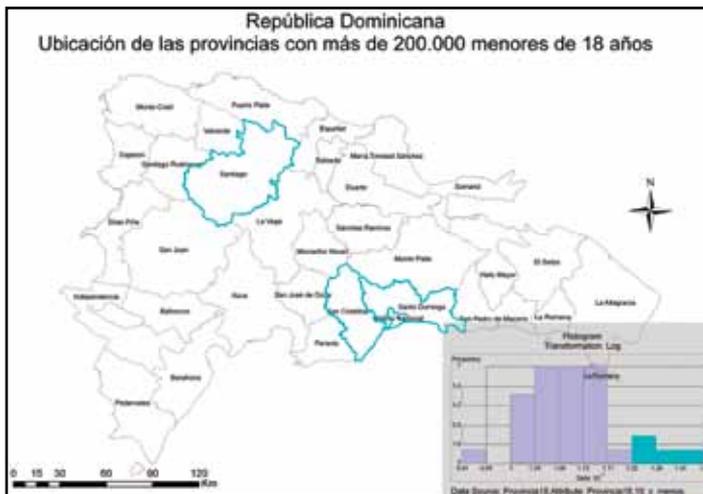
- Análisis de datos de la componente temática, como cualquier base de datos.
- Análisis geométrico de la componente espacial.
- Análisis espacial y modelado cartográfico de ambas componentes.

Figura 6. Dualidad del dato geográfico. Espacio y atributos



Fuente: elaboración propia

Figura 7. Dualidad del dato geográfico. Distribución espacial y estadística



Fuente: elaboración propia

Sin embargo, no debe olvidarse que toda la potencia de análisis que proporciona la dualidad del dato geográfico conlleva también la posibilidad doble de error. Errores posibles, por un lado, en el registro de los atributos o variables cualitativas o cuantitativas de los datos, error común a cualquier sistema de recogida de información y, por otro, errores posicionales de los datos. Un error de este último tipo puede llevar a que, a través de las operaciones de análisis espacial, los errores se acumulen o propaguen.

Por ejemplo, la ubicación errónea de una fuente de emisión en un lugar equivocado conlleva errores en las medidas de distancias entre la fuente y los elementos espaciales próximos, es decir conlleva errores en la evaluación de la exposición. Su agregación espacial en unidades más amplias de análisis (por ejemplo en un municipio) traslada el error a esas otras unidades de análisis llevando a líneas equivocadas de análisis o conclusiones erróneas.

1.2.4. Organización de la información en capas

Los sistemas de información geográfica trabajan analizando la realidad, es decir, separando los componentes del mundo real en capas de información.

Una capa de información espacial es un conjunto elemental y homogéneo de información georreferenciada que puede integrarse en un sistema junto con otras capas merced a compartir con ellas la misma referencia espacial. Las capas pueden proceder de modelos ráster o de modelos vectoriales y pueden ser de puntos, líneas o polígonos. Esta estructura deriva directamente de los procedimientos cartográficos convencionales. Si se observa un mapa convencional, (un mapa topográfico es el ejemplo paradigmático) se comprueba cómo la información está clasificada en conjuntos con sistemas de representación coherentes y compartidos: curvas de nivel, carreteras, líneas de ferrocarril, tendidos de líneas eléctricas, usos del suelo, núcleos de población o poblamiento aislado, conjuntos de vegetación, etc. Cada uno de estos conjuntos es lo que constituye una capa en un sistema de información geográfica (ver Figura 8). El gestor del sistema de información puede elegir qué capas son necesarias para un determinado análisis espacial o representación cartográfica porque es obvio que toda la información genera ruido y hace ilegible un mapa. Además de la selección, la composición del mapa (tanto el convencional como el electrónico) requiere que los elementos seleccionados estén generalizados, representados en todo el territorio cartografiado o de análisis.

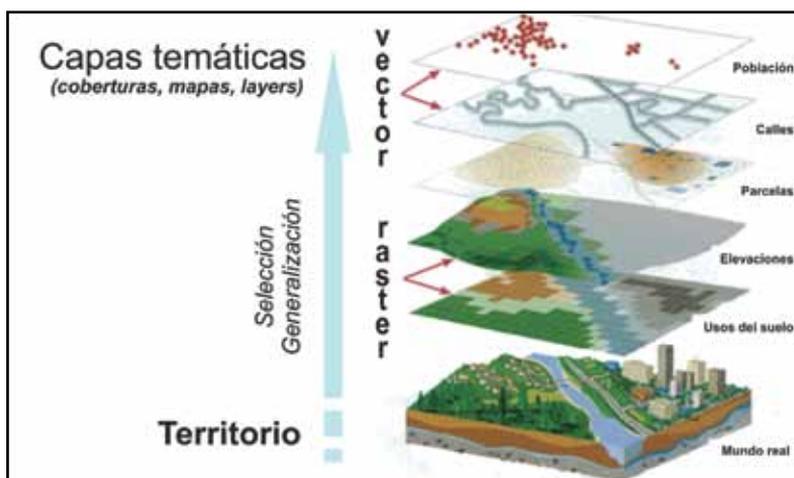
La gestión de la información en capas da origen a una de las más potentes posibilidades de análisis: la asociación de múltiples tipos de información de fuentes diferentes a partir de la superposición de capas, que permite el análisis espacial bivalente y multivalente, además de enriquecer las posibilidades de representación.

Junto a las posibilidades que ofrece, tampoco se debe olvidar algún inconveniente no menor a la hora de la representación cartográfica. Efectivamente, cuando se manejan datos personales, y esto es necesario en salud ambiental con mucha frecuencia, la superposición de capas presenta un problema colateral relacionado con la confidencialidad.

Supóngase una capa que reúne los casos de una determinada enfermedad de origen ambiental en una localidad concreta y que a la tabla de datos se le ha quitado toda la información personal de cada caso. Pero con eso no basta pues con la pura localización geográfica del domicilio donde reside un caso, que permite superponer, por ejemplo, la capa del callejero, o la imagen del catastro o una imagen de satélite (procedente de un sensor remoto) se está vulnerando la confidencialidad, porque se podría

deducir mucha información de esa persona a partir del sitio en el que vive. Incluso se podría llegar a poner nombres y apellidos en muchas circunstancias (localidades pequeñas, viviendas unifamiliares, enfermedades poco frecuentes, etc.). Más adelante se verán diversos procedimientos que permiten representar en mapas datos de carácter personal ocultando localizaciones exactas.

Figura 8. Estructura de la información espacial en capas



Fuente: NESDIS³⁰

1.2.5. Visores cartográficos: SIG distribuidos

Aunque la aplicación de los SIG es relativamente reciente (en realidad se han utilizado de forma generalizada solo a partir de la década de los 90 del s. XX, cuando las prestaciones de los equipos informáticos personales permitían ya manejar los archivos de gran tamaño que conlleva su uso), estos han sufrido una gran evolución. Frente a los SIG de un solo puesto de los orígenes se ha pasado a los SIG corporativos en los que se comparte la información normalizada. Los expertos en estas herramientas ahora no solo tienen que manejarlas y mantener actualizada la información sino que han de poner a disposición de usuarios no expertos dicha información, en bruto o elaborada como información espacial, así como las herramientas imprescindibles para la optimización de su uso. Todo ello ha supuesto un cambio cualitativo trascendental mediante la filosofía de los servicios de mapas vía Web por medio de visores de fácil manejo. Así pues, un visor cartográfico, tal como aquí se concibe, es un mapa electrónico distribuido a través de una red (Internet o Intranet) e integrado por dos tipos de componentes: información espacial relevante para los usuarios, y herramientas de fácil manejo para el acceso, visualización y análisis de esa información por parte de usuarios no expertos en herramientas geográficas.

La clave está en que la información sea realmente relevante, necesaria para el trabajo de los usuarios. Se puede concebir un visor como un repositorio de información, en muchos casos proporcionada en principio por esos propios usuarios aunque luego

trabajada por los gestores del visor. Un visor es, en este sentido, un vehículo en el que compartir información procedente de los diferentes ángulos que componen la salud pública: los determinantes sociales, demográficos, ambientales, el estado de salud de la población en términos de morbilidad y mortalidad, las intervenciones de salud pública, la información y gestión asistencial sociosanitarias, etc.

Pero la clave también está en que las herramientas para acceder a esta información sean tan sencillas y versátiles en su manejo como potentes en sus resultados. El usuario, profesional experto en salud, pero no en SIG, necesita con frecuencia respuestas rápidas del tipo: cuánta población está en riesgo en la zona en la que se ha declarado una alerta; qué características sociodemográficas tiene esa población; qué recursos de todo tipo hay disponibles en la zona; qué instalaciones de riesgo se conocen en la zona, etc. Un visor realmente útil debe dar la posibilidad de responder a estas preguntas de forma inmediata sin que el usuario se vea torturado por su falta de pericia.

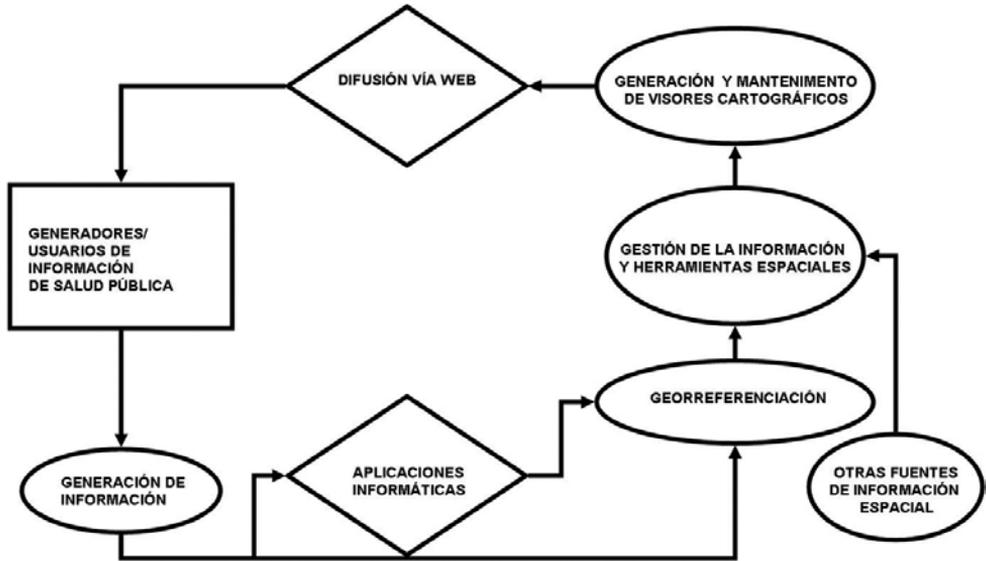
Los visores cartográficos presentan en este contexto una doble ventaja. Por una parte, conllevan una necesaria centralización de la gestión de la información. Esto quiere decir que toda la organización o, mejor, todo el conjunto de profesionales usuarios del sistema manejan la misma información, procedente de la misma fuente, con el grado de detalle que sea preciso, con los mismos ritmos de actualización, con las garantías que ofrece su adaptación a la normalización existente (por ejemplo a las prescripciones de INSPIRE) y documentada mediante los oportunos archivos de metadatos. Y, además, esta información se distribuye, no hay que buscarla. Se acabó el problema de indagar sobre la mejor fuente sobre los límites de las unidades territoriales, contrastar si esa información es la más reciente, o si es la oficial. El usuario solo tiene que abrir el explorador y sabrá que lo que ahí aparece tiene todas esas cualidades reunidas.

Por otra parte un visor cartográfico ofrece una descentralización del uso de la información y de las herramientas geográficas que deriva de su acceso en cada puesto de la red por profesionales con necesidades diferentes.

Los SIG son un estímulo para el trabajo multiprofesional, consustancial por otra parte a las funciones de salud pública. Junto a los profesionales especializados en temas de salud pública, estos sistemas requieren el concurso de otros profesionales capacitados para incorporar las capas de información oficiales y actualizadas para su uso eficiente, hacer las transformaciones necesarias para posibilitar el uso de dicha información, manejar, actualizar y hacer fácilmente utilizable el sistema (programas, redes y equipos) y hacer análisis espacial con la solvencia que proporciona el conocimiento de los mecanismos de interrelación espacial de las variables naturales y sociales³⁵.

La división de funciones es una opción ineludible para economizar esfuerzos y hacer más eficiente el trabajo (ver Figura 9). En el anexo 3 se incluye una propuesta de implementación de un SIG distribuido (un visor cartográfico difundido en Internet) para uso de los profesionales de la salud ambiental.

Figura 9. Diagrama funcional de un SIG distribuido



Fuente: elaboración propia

1.2.6. Protección de datos e información espacial

Una parte importante de los datos que se manejan en salud son datos de carácter personal y por lo tanto, protegidos, por lo que no pueden tratarse de forma individual como un punto, asociable como se ha visto a un domicilio concreto, sino de forma agregada en una zona: sección censal, barrio, zona de salud, municipio, etc. No se tiene acceso de forma general a la residencia individual de los ciudadanos sino de forma agregada en secciones censales. Algunos datos especialmente sensibles son proporcionados por la fuente en agregaciones demasiado groseras como para soportar un análisis espacial mínimo. Se trata por ejemplo de los datos de morbilidad que no se deben manejar de forma pública cuando el tamaño del numerador y/o del denominador no son suficientemente amplios porque no se garantiza adecuadamente la confidencialidad asignando un caso a una unidad territorial con muy pocos residentes. Más precisión en la representación espacial equivale a menor seguridad en la protección de datos y viceversa.

En este punto hay que distinguir, no obstante, el uso de la información por parte de los profesionales para el análisis espacial específico y la representación cartográfica de esos datos, es decir, su presentación pública. Aunque en el primer caso también existen restricciones y requisitos de acceso recogidos en las normativas de protección de datos, es en el segundo caso donde se ha de tener especialmente cuidado. Sobre todo si se piensa en la distribución de los datos –mapas- en la red de forma que el usuario pueda superponer capas. De nada sirve ocultar el domicilio de un caso en la tabla de datos asociados como atributos alfanuméricos si un usuario puede encontrarla

con la simple superposición de la capa de casos con la capa del callejero.

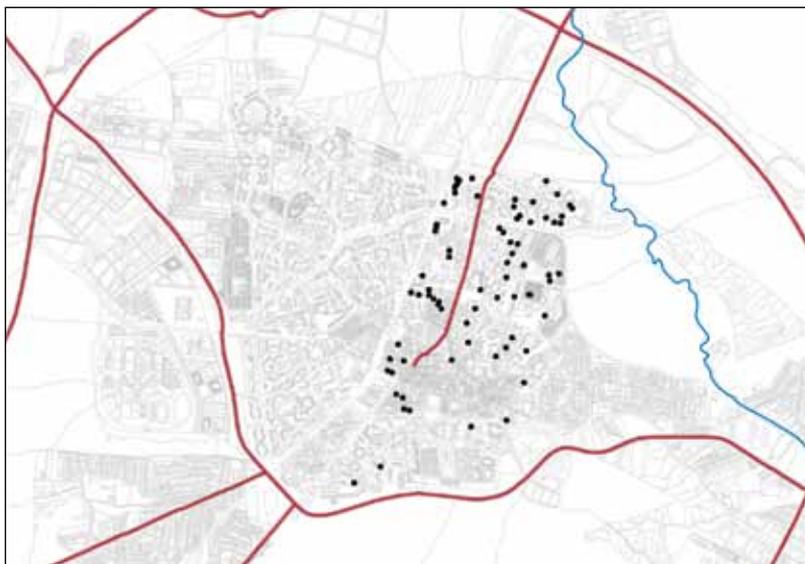
Las herramientas geográficas proporcionan sobrados instrumentos que permiten ‘camuflar’ la representación de datos de carácter personal. A continuación se señalan algunos de ellos.

La primera opción es representar los datos agregados, ya sea en forma absoluta (por ejemplo, número de casos por municipio) o relativa en forma de tasa o razón utilizando el denominador que mejor convenga a la expresión que se busca: población total, por grupos específicos, superficie, etc.

La representación cartográfica de casos puntuales de una enfermedad sirve, a escalas relativamente pequeñas, para la representación del patrón de distribución geográfica de casos individuales de esa enfermedad. Pues bien, ese patrón se puede descubrir representando para esas escalas, en vez de un mapa de puntos (‘reales’), un mapa de polígonos en el que se simboliza la variable cuantitativa ‘número de casos’ mediante una nube de puntos distribuidos aleatoriamente en la extensión de ese polígono.

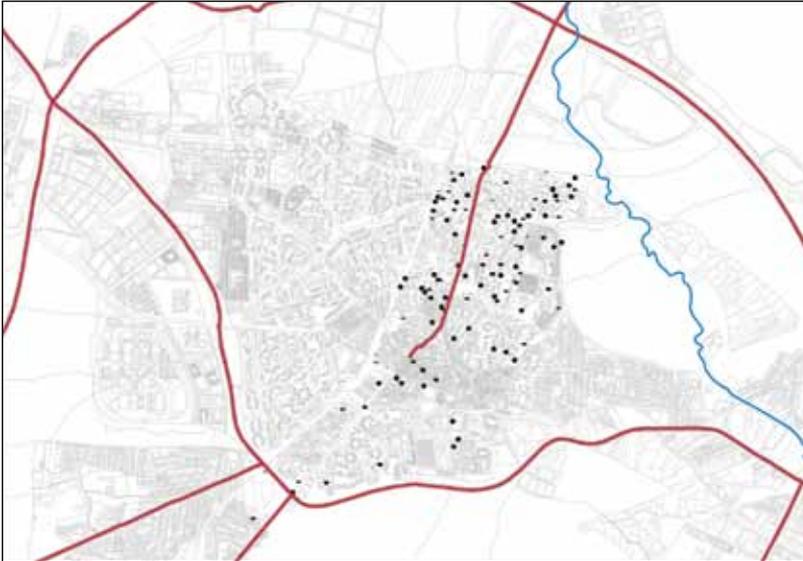
Se verá mejor con un ejemplo en tres imágenes sucesivas. En la primera imagen se representa el mapa con la ubicación de la residencia de los casos estudiados (ver Figura 10) y en la segunda se representa, aunque no lo parezca, un mapa de secciones censales en las que el número de casos de cada sección se representa por una nube de puntos en la que un punto equivale a un caso, pero ubicado de forma aleatoria dentro de la sección censal (ver Figura 11).

Figura 10. Protección de datos personales. Ubicación real de los puntos



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados.

Figura 11. Protección de datos personales. Ubicación aleatoria de los puntos en las secciones censales



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados.

En la Figura 12 se puede observar el mismo mapa por secciones censales pero utilizando una gama de colores que representan mediante intervalos, el número de casos diagnosticados en cada sección censal. El uso de la nube de puntos aleatorios tiene la ventaja de que recuerda que se están representando casos individuales, puntuales, pero deber ser convenientemente explicada para que no se confundan los puntos aleatorios con casos ubicados fielmente.

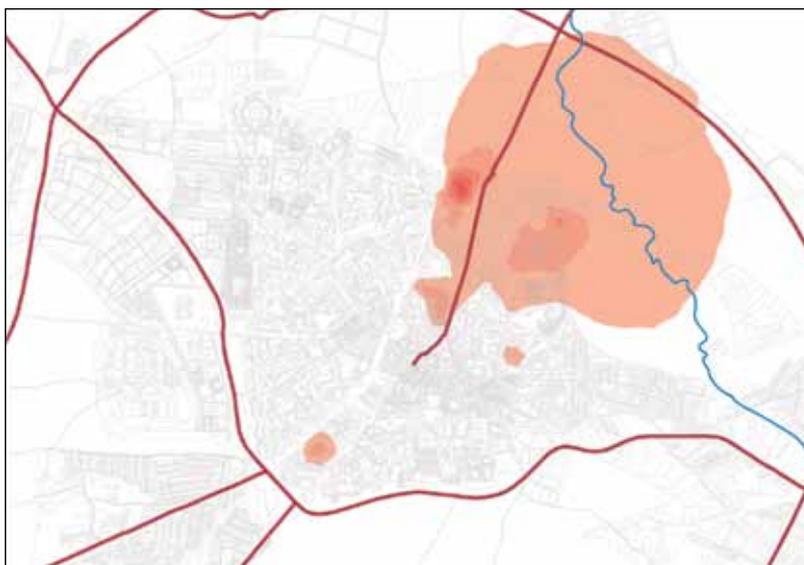
Figura 12. Protección de datos personales. Número de casos por sección censal



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados.

Con la misma estructura que se ha configurado para estas dos operaciones de camuflaje descritas, es decir, la agregación de casos por unidad espacial, se puede construir además un modelo predictivo para todo el territorio de estudio. Se trata, como se verá más adelante de construir un modelo de predicción a partir de la interpolación de valores conocidos. En este caso los puntos serán los centroides de las secciones censales y el valor a interpolar es el número de casos en esa sección. Se consigue así representar a la vez el patrón de distribución geográfica de los casos de la enfermedad y la predicción para todo el territorio sin comprometer en ningún momento la protección de los datos personales (ver Figura 13).

Figura 13. Protección de datos personales. Interpolación.



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados.

Otro enfoque radicalmente distinto de camuflaje consiste en utilizar la ubicación real de los domicilios pero no representarlos individualmente sino agrupados estadísticamente en un área de dispersión de puntos. Un área de dispersión de puntos, como se verá más adelante, es un área, no necesariamente circular, en torno a uno o dos centros de gravedad (promedio de las coordenadas x e y de los n puntos estudiados) y a una distancia definida por una o más desviaciones estándar de las n distancias a ese centro de gravedad. El resultado es que se muestra la zona en las que se distribuyen realmente los casos, independientemente de las fronteras administrativas, pero sin señalar los domicilios individuales con el cursor (ver Figura 14).

El mismo efecto de ocultación de datos de carácter personal que se conocen previamente es la asignación de un hecho espacial como, por ejemplo, una fuente de emisión o la ubicación de población susceptible de estar expuesta, a una entidad no existente de antemano sino construida al hilo del análisis o de la representación cartográfica. En definitiva es como otra forma de georreferenciación indirecta, pero en vez

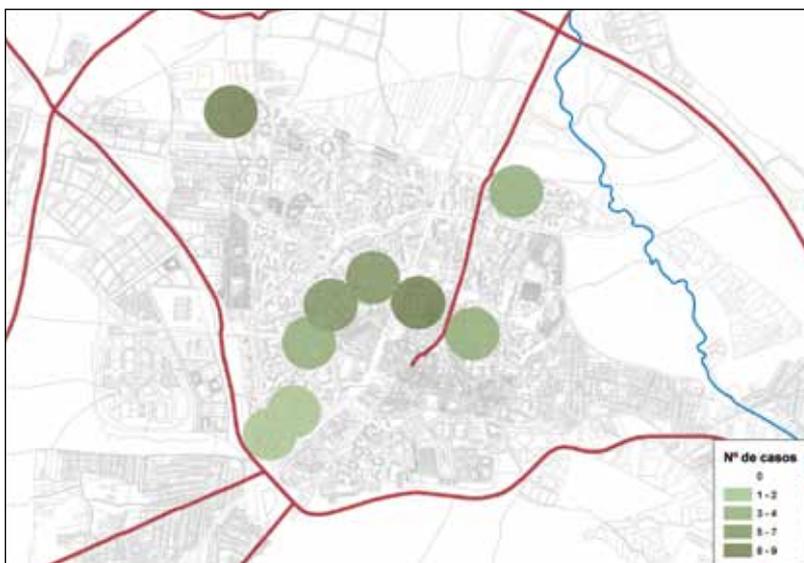
de asignar a una entidad existente (sección censal, municipio) se asigna a una entidad conceptual. Este es el caso de la inclusión en un área de influencia, cuya distancia de radio se establece en función de los criterios utilizados. Se obtiene así, por ejemplo, la pertenencia de un grupo de ciudadanos o casos a las áreas de influencia de 100 m de radio desde todas las gasolineras de una ciudad. No se desvela su domicilio, pero sí se señala un atributo importante relacionado con la residencia como es la exposición potencial a un determinado contaminante (ver Figura 15).

Figura 14. Protección de datos personales. Elipse de distribución de puntos



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados.

Figura 15. Protección de datos personales. Ubicación de casos en áreas de influencia.



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados.

En la construcción de un visor en la Web hay que prestar especial atención al manejo de las escalas de representación para proteger datos de carácter personal. Las capas que contienen datos espaciales personales (localización exacta del domicilio, por ejemplo) deben ser visibles solo a escalas pequeñas, manteniendo inaccesibles siempre los atributos alfanuméricos que sean comprometidos (edad, sexo, domicilio,...).

A escalas grandesⁱⁱⁱ, en las que se pueden apreciar mejor los detalles de ubicación, solo deben ser visibles los mapas temáticos de nubes de puntos aleatorios, los modelos de interpolación espacial, las elipses o círculos de dispersión de puntos, etc. Es decir, todos los artilugios que se hayan construido para expresar patrones espaciales camuflando los datos personales, puesto que el usuario podría desvelarlos simplemente superponiendo las capas de alta definición espacial tales como imágenes aéreas o de satélites, fondos gráficos de la trama urbana, edificios, calles, etc.

iii. Hay que recordar que una escala grande conlleva mayor detalle pero menor territorio representado que una escala pequeña. Las escalas se expresan en forma de fracción con numerador 1, por lo que 1:5.000 es mayor que 1:100.000.

Capítulo 2. Representación cartográfica

La representación cartográfica es la primera e indisoluble función o destino de la información espacial. Si se permite la tautología, no hay mapa en sentido estricto sin información espacial ni viceversa. Solo tiene sentido separarlos para facilitar la exposición de conceptos específicos.

Este capítulo se centra en la definición genérica del proceso cartográfico, así como en las principales características de los mapas temáticos y la interpretación de sus contenidos.

2.1. Señas de identidad de los mapas

Un mapa es una representación geométrica plana simplificada y convencional de todo o parte de la superficie terrestre en una relación de similitud conveniente que se llama escala. Al margen de los requerimientos geométricos y del carácter selectivo y por tanto simplificado de los mapas que se recogen en esta definición y que se han comentado en el capítulo anterior, merece la pena pararse en los conceptos de representación y convención.

Según el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua (DRAE), una representación es una “figura, imagen o idea que sustituye a la realidad”, y una convención es una “norma o práctica admitida tácitamente”. El mapa es por tanto una construcción subjetiva, sometida a normas preestablecidas de representación: símbolos y signos más o menos descriptivos.

La elaboración de los mapas, es decir, la cartografía, comprende el conjunto de estudios y de operaciones científicas, artísticas y técnicas, que intervienen a partir de resultados de observaciones directas o de explotación de una documentación, para la elaboración y establecimiento de mapas, planos y otros modos de expresión así como su utilización. Es por tanto una ciencia, un arte y una técnica³⁶.

Lo que se trasluce en estas definiciones más o menos académicas es que un mapa es un elemento de comunicación. Un proceso de comunicación siempre incluye cinco elementos: emisor, canal, código, receptor y mensaje.

En un proceso de comunicación, el código, que en nuestro caso es el propio mapa, ha de ser conocido por los participantes en el proceso y se articula a partir de símbolos (o signos) que son la unión indisoluble de un significante (\approx forma) y un significado (contenido) y es producto de una convención. En un mapa el contenido son los objetos espaciales y toda la información temática asociada a los objetos espaciales y los aspectos formales son la composición, los colores, los formatos, tamaños, etc.

Se puede concluir diciendo que las señas de identidad de los mapas radican en que son un vehículo de información, en que son capaces de incluir una gran cantidad de información de forma sintética y en que mantienen una relación geométrica con la realidad.

Con carácter general, se debe diferenciar entre dos tipos de mapas, tan diferentes

que se puede decir que solo comparten el título de mapa. Se trata de los mapas base, generales o de referencia y los mapas temáticos o mapas derivados.

Mientras que los mapas base o de referencia, como por ejemplo los mapas topográficos, representan una información amplia, extensa y variada, los mapas temáticos se centran en una menor cantidad de información sobre una sola variable o tema (o muy pocas variables). Esto no significa que los mapas temáticos sean mapas simples. Al contrario, las variables pueden ser muy complejas y así también los mapas que las representan. Se puede tratar de una variable o indicador que sintetiza el estado de varios fenómenos simultáneos o sucesivos. Se puede hablar de mapas estáticos, que representan el estado momentáneo de un fenómeno, y dinámicos que expresan el movimiento o cambio de una variable tanto en el espacio como en el tiempo, etc.

La finalidad principal de ambos tipos de mapas es también muy diferente. Los mapas de referencia basan su razón de ser en proporcionar información sobre localización de lugares, hechos, o fenómenos en el territorio. Por su parte los mapas temáticos pretenden facilitar el conocimiento del comportamiento espacial de una variable.

Por último, quizás la diferencia definitiva es que los mapas temáticos necesitan de los mapas base. Los procedimientos cartográficos que se desarrollan para realizar los mapas de referencia dan soporte y posibilitan la existencia de mapas temáticos o derivados.

La denominación y contenido de los mapas básicos dependen de la escala. De una forma aproximada se habla de planos hasta una escala de 1:10.000. De 1:10.000 a 1:50.000 son mapas topográficos. Entre 1:50.000 y 1:500.000 se les suele denominar mapas territoriales. A partir de 1:500.000 son los mapas geográficos. Estos límites son lógicamente aproximados y hay mapas puramente topográficos, territoriales o geográficos a una escala de 1:100.000 dependiendo de los objetivos de la formación del mapa.

2.2. Interpretación de mapas temáticos

Las cualidades de un buen mapa temático son la precisión, expresividad, legibilidad y la eficacia o rendimiento, es decir, ser capaz de transmitir la mayor cantidad de información con los menores recursos.

Sin olvidar la importancia en el proceso de comunicación que tienen las leyendas (también llamadas cartelas) y los títulos, es preciso incidir en los aspectos estrictamente de representación cartográfica de las variables en los mapas temáticos.

2.2.1. Individuos de observación y variables representadas

Los mapas temáticos representan el comportamiento espacial de determinadas variables, sean estas cualitativas o cuantitativas, registradas en los diferentes individuos de observación. Los individuos de observación son los contenedores espaciales de información y se agrupan en tres grandes tipos: puntos, líneas y polígonos. Para los

mapas que utilizan modelos de datos ráster, los individuos de observación serían los píxeles.

Para poder expresar y entender el patrón de distribución espacial de las variables en los diferentes individuos de observación hay que hacer algunas precisiones en torno a dos elementos clave: los intervalos en los que se agrupa la variable y los colores o tramas que se utilizan para su expresión gráfica.

Intervalos

Los intervalos o clases de agrupación de variables cuantitativas con vistas a su representación cartográfica presentan dos cuestiones de partida: qué número de intervalos representar y cómo establecer los puntos de ruptura.

Respecto al número de intervalos hay varias reglas para establecer las clases de una distribución estadística.

La regla de Velleman establece que el número óptimo es el doble de la raíz cuadrada del número de individuos.

$$L = 2\sqrt{n}$$

Por su parte la regla de Hunsterberger establece un número más moderado.

$$L = 1 + 3,3 \cdot \log(n)$$

No obstante, junto a los requerimientos de cualquier distribución estadística, para seleccionar el número de intervalos a la hora de elaborar un mapa hay que tener en cuenta las exigencias de legibilidad de imágenes y colores. Más de 6 o 7, a lo sumo 10 intervalos son prácticamente imposibles de diferenciar en un mapa ya se utilicen colores o tramas.

En lo que se refiere a la forma de establecer los puntos de ruptura, los mecanismos son diversos. Se puede buscar que los intervalos tengan igual amplitud (valores de 1 a 10, de 11 a 20,...) o igual número de individuos de observación (cuantiles), o estén basados en la media y desviación típica, etc. Aunque son muchas las posibilidades, se incluye a continuación una demostración concreta de los resultados disímiles que ofrece una misma variable en un mismo conjunto de individuos de observación para ver las diferencias entre alguno de los principales métodos.

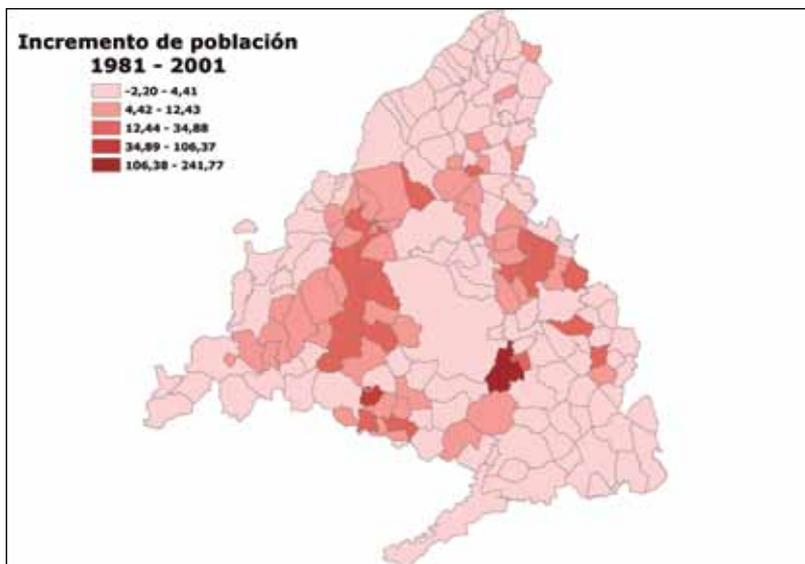
En la Figura 16 se representa una misma variable con distintos procedimientos para el establecimiento de intervalos. Se trata de la evolución de la población -incremento o decremento del número de habitantes- en un periodo de tiempo^{iv}. La elección del método depende tanto de la distribución de la variable (la forma de su histograma

^{iv}: En concreto, la variable que se utiliza aquí para analizar la evolución del tamaño poblacional es el promedio anual del porcentaje de incremento en el periodo considerado: $\frac{(Pt - P(t-1))}{P(t-1)} \cdot 100/n$, donde P_t = Población al final del periodo; $P(t-1)$ = Población al inicio del periodo; y n = número de años del periodo

de frecuencias) como del tamaño, más o menos heterogéneo, de las unidades de observación. La Figura 16-a está construida con rupturas naturales entre intervalos, es decir que se utilizan como cortes los puntos en los que la distribución gráfica de la variable tiene una inflexión^v. La Figura 16-b está diseñada estableciendo los puntos de ruptura en los valores que dividen los datos en cuantiles (tantos como el número de intervalos decidido, menos uno). En este caso son quintiles, es decir percentiles del 20% (P20, P40, P60 y P80) que segmentan la variable en partes que contienen el mismo número de casos. Es una representación apropiada para informar sobre la distribución estadística de los sujetos de análisis. La Figura 16-c está construida con otro criterio estadístico, el de la desviación estándar, y es útil para detectar espacialmente los valores extremos en la distribución estadística de una variable. Se ve claramente cómo destacan en este caso dos municipios que han crecido dos desviaciones estándar y media por encima de la media. La representación de las rupturas naturales (Figura 16-a) debe ser corregida introduciendo un criterio añadido: a los puntos de ruptura naturales hay que añadir un punto de ruptura que separe los municipios que han crecido de los que han perdido población en el periodo. El comportamiento gráfico de la variable no distingue esa inflexión, pero para que nuestro análisis sea razonablemente interesante tiene que recoger esa diferencia. Por eso se incluye en la Figura 16-d una clase específica para los municipios que han perdido población y que, además, se representa de otro color para incidir gráficamente en el hecho de que la variable cambia de signo.

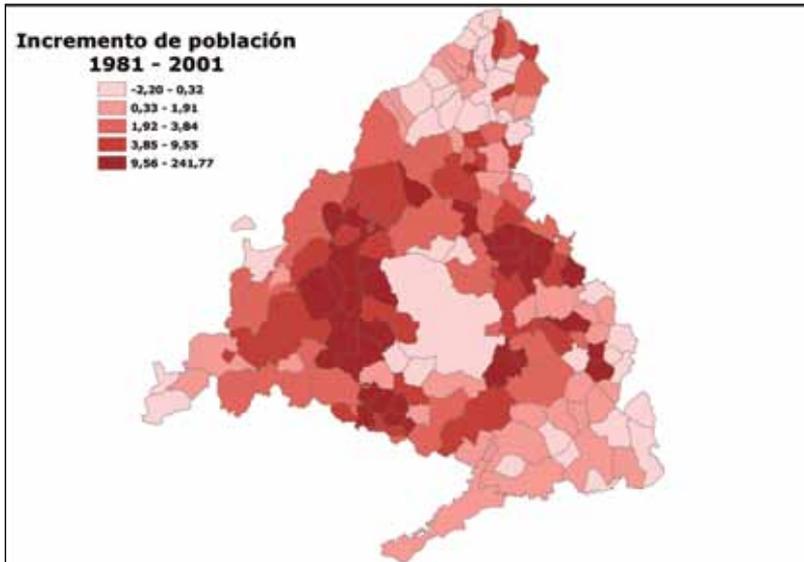
Figura 16. Representación de una variable cuantitativa. Diferentes formas en el establecimiento de intervalos

a. Puntos de ruptura en la distribución estadística.

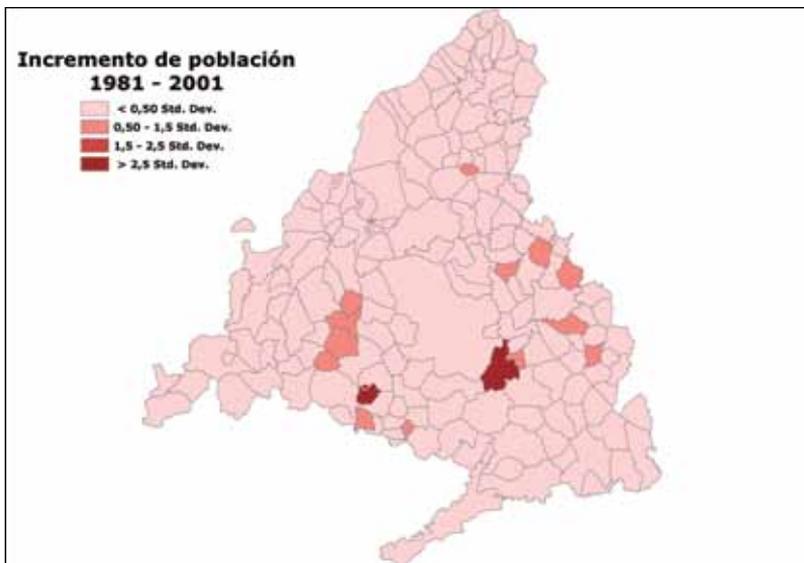


v. Se utilizan los puntos de ruptura naturales basados en el algoritmo de optimización de Jenks. Las clases (intervalos) se basan en agrupaciones naturales inherentes en la serie de datos. De forma automática se identifican los puntos de ruptura, es decir, donde hay saltos relativamente grandes de los valores, con lo que se optimiza la agrupación de valores similares y se maximizan las diferencias

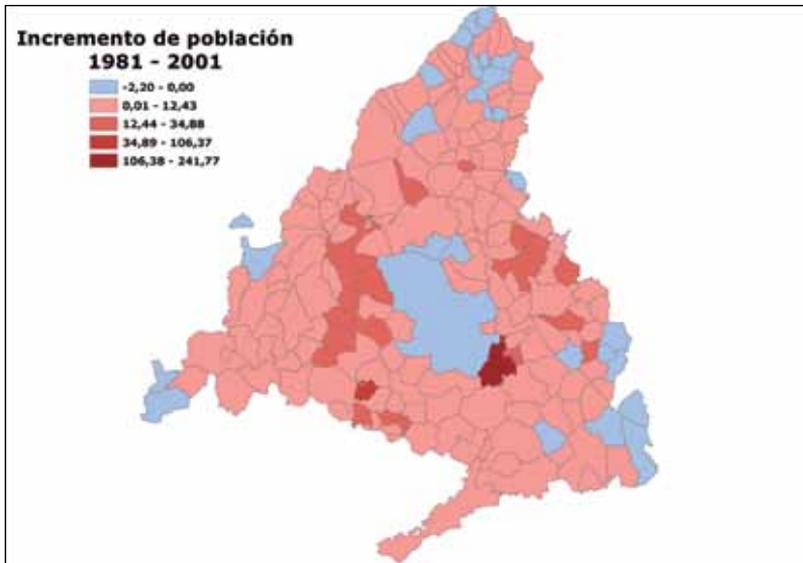
b. Cuantiles



c. Desviación estándar



d. Puntos de ruptura 'naturales' distinguiendo valores negativos



Fuente: elaboración propia

El uso de los colores

Este último asunto nos da pie para entrar en el tema del uso del color en los mapas temáticos.

Cuando las variables representadas responden a características cualitativas de los individuos de observación el uso de los colores es completamente convencional. Se puede recurrir a convencionalismos establecidos y aceptados de forma generalizada, como es el caso ya comentado de los mapas topográficos que utilizan el azul para mar, lagos, ríos, el siena para las curvas de nivel o el rojo para las infraestructuras de comunicación y núcleos de población. El recurso a colores consabidos agiliza la interpretación del mapa para el usuario. (Ver Figura 17)

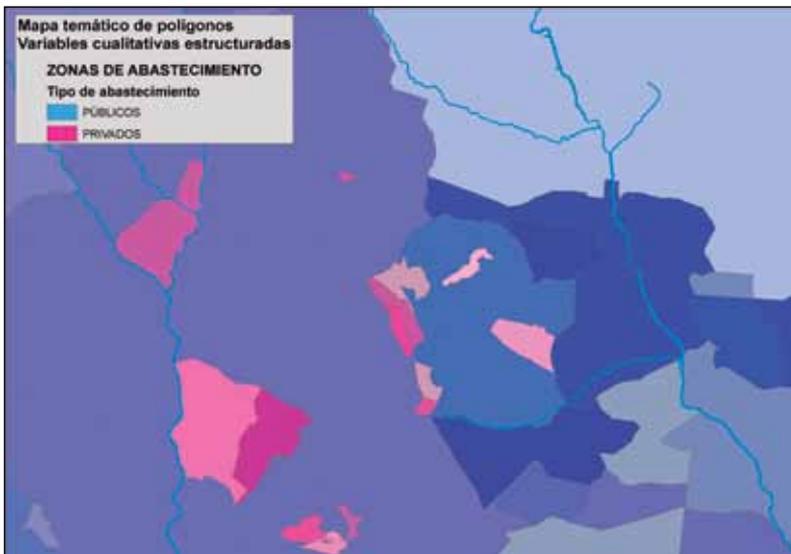
También es conveniente utilizar colores asociados para representar variables cualitativas relacionadas entre sí que aumentan la expresividad y facilidad de lectura del mapa. Por ejemplo, en el mapa que representa distintos tipos de abastecimiento de la Figura 18 se pueden utilizar colores de forma aleatoria, pero si se utilizan tonos del mismo color para grandes grupos tipológicos se facilita la interpretación: distintos tonos del mismo color para abastecimientos públicos de diferente tipo y distintos tonos de otro color para abastecimientos privados de diferente tipo (empresas abastecedoras, orígenes distintos de abastecimiento, etc.). De esta forma se reconoce de un golpe de vista la distribución territorial de los dos grandes conjuntos aunque dentro de cada uno se evidencian las diferencias internas.

Figura 17. Mapa topográfico



Fuente: Instituto Geográfico Nacional. Serie MTN50, hoja 21. 1956

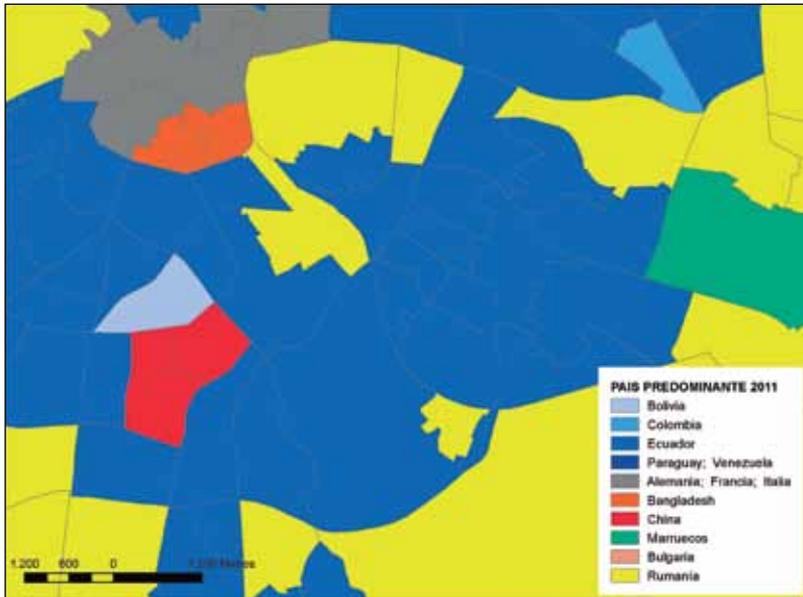
Figura 18. Variables cualitativas estructuradas



Fuente: elaboración propia

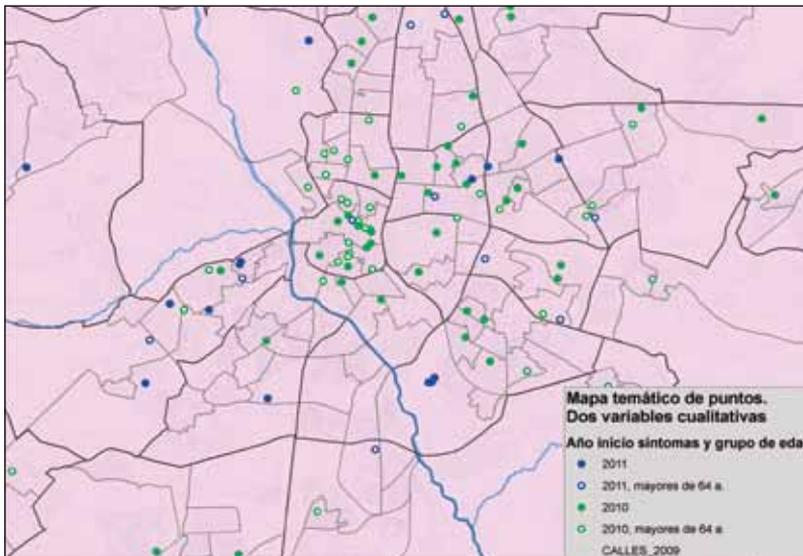
El mismo recurso es el utilizado en el mapa de nacionalidades predominantes entre los inmigrantes en una zona (Figura 19). Se pueden agrupar visualmente por el uso de colores de la misma gama los inmigrantes procedentes de una misma área geográfica (América -azules-, Asia -anaranjados-rojos, ...)

Figura 19. Variables cualitativas agrupadas



Fuente: elaboración propia

Figura 20. Variables cualitativas múltiples en mapas de puntos



Fuente: elaboración propia

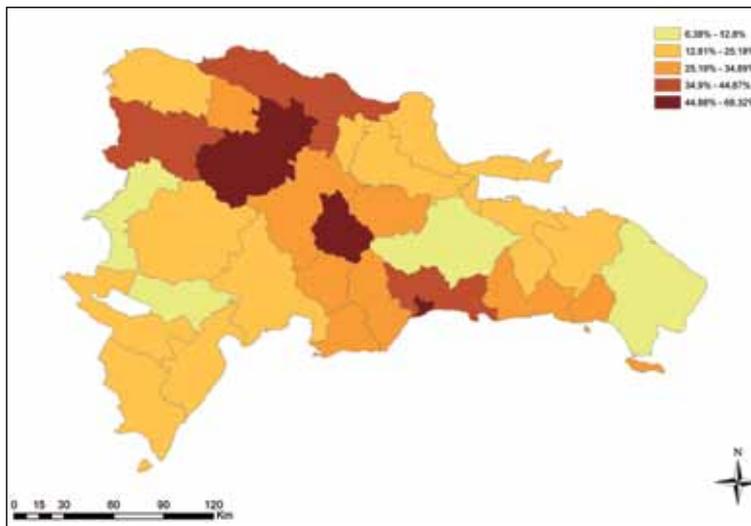
Las variables cualitativas pueden combinarse en los mismos sujetos de observación para obtener representaciones cartográficas más complejas. La Figura 20 es un ejemplo sencillo en el que se utilizan solo dos variables para representar los casos por año de inicio de síntomas y por edad.

En lo que respecta al uso de color para las variables cuantitativas, es conveniente

utilizar siempre una sola gama de tonos de un mismo color cuando la variable es continua: mayor intensidad tonal cuanto mayor es el valor de la variable (Figura 21).

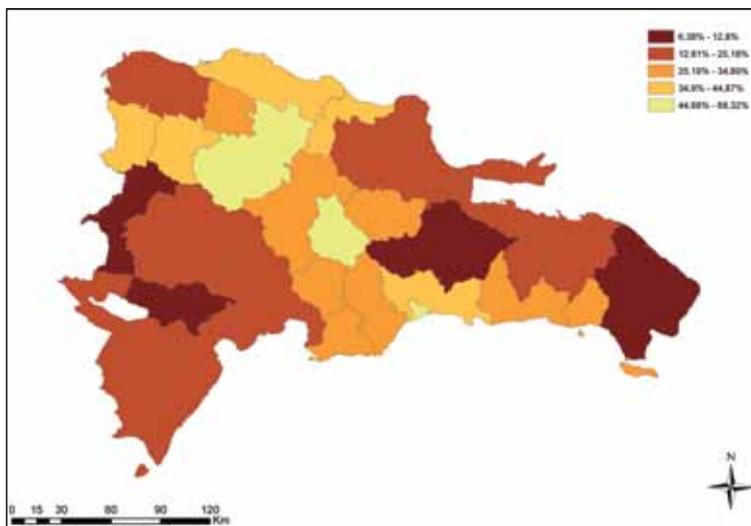
También es posible invertir la tonalidad si lo que se quiere resaltar son los valores inferiores. Obsérvese el mismo mapa con la gama de color invertida (Figura 22). La mirada del receptor se orienta más hacia los tonos oscuros, con lo que se destacan los 'peores' resultados de una variable: menores porcentajes de población con abastecimiento de agua dentro de la vivienda.

Figura 21. Variables cuantitativas. Color creciente



Fuente: elaboración propia

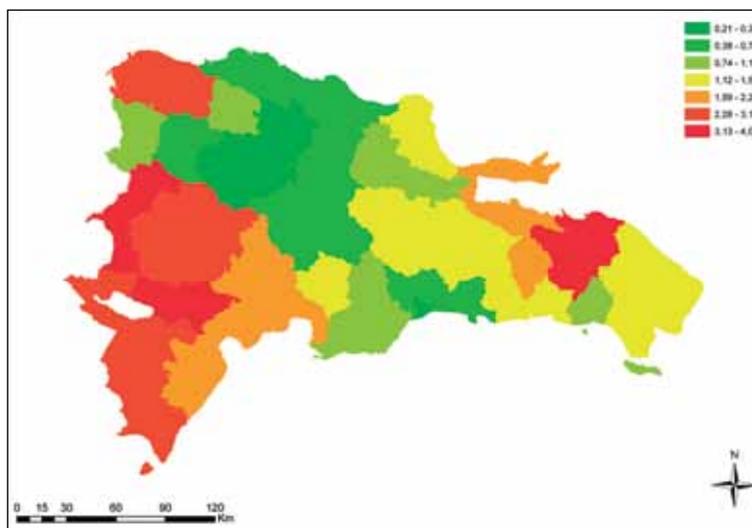
Figura 22. Variables cuantitativas. Color decreciente



Fuente: elaboración propia

Esto tendrá más sentido si, por ejemplo, se va a incluir a continuación una variable que crece donde esta decrece. Por ejemplo, si a continuación interesa hablar de otro servicio básico como son los servicios higiénicos en vivienda y se quiere resaltar allí donde hay menos como en la imagen siguiente (Figura 23).

Figura 23. Variables cuantitativas con eje de corte



Fuente: elaboración propia

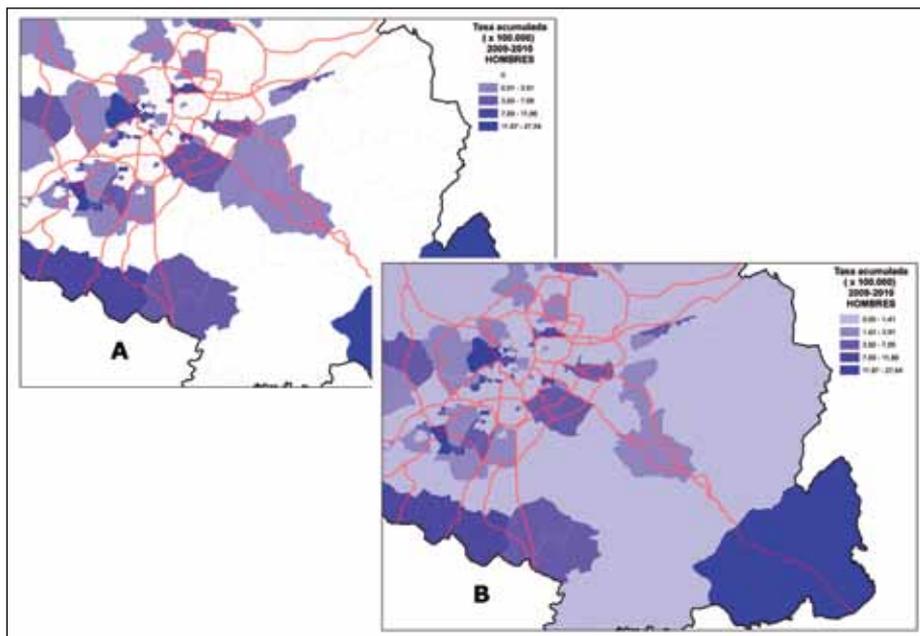
Efectivamente aquí los valores más altos están relacionados espacialmente con los más bajos de la imagen anterior. Es decir que, como cabía esperar, donde menos habitantes tienen agua en las viviendas más escasean los servicios higiénicos en las mismas. Lo que es una evidencia en las conclusiones no se debe ocultar o, al menos oscurecer, con una gama de tonalidades de color en sentido inverso.

Esta imagen última incluye dos tonalidades de colores diferentes (fríos y cálidos) separadas por un color neutro (amarillo). Cuando la variable tiene un punto de inflexión, se utilizan dos gamas distintas y crecientes en cada sentido de la variable. Por ejemplo un mapa de temperaturas que distinga visualmente los valores negativos de los positivos en relación a los cero grados (valor de referencia). En la Figura 23 la variable es la razón entre el porcentaje provincial y el porcentaje nacional, por lo que el nivel de referencia o punto de inflexión es 1, es decir el valor de la media nacional. Los valores inferiores a 1 serían 'negativos' y los superiores 'positivos'.

En el uso de los colores en los mapas de distribución de variables cuantitativas se reserva el blanco para valores nulos. En la Figura 24 se presentan los casos declarados de una enfermedad en las zonas de salud de un determinado territorio en un periodo concreto. Como es lógico al no ser una enfermedad muy frecuente en este territorio, hay zonas de salud, que son las unidades territoriales utilizadas en este caso para agregar los datos, en las que no se ha declarado ningún caso. Si se incluye el cero en el rango de valores representados, dentro del intervalo inferior, se representa una ex-

tensa zona con valores muy bajos (imagen B), cuando la realidad es que hay una extensa zona sin ningún caso (imagen A).

Figura 24. Variables cuantitativas. Valor cero



Fuente: elaboración propia

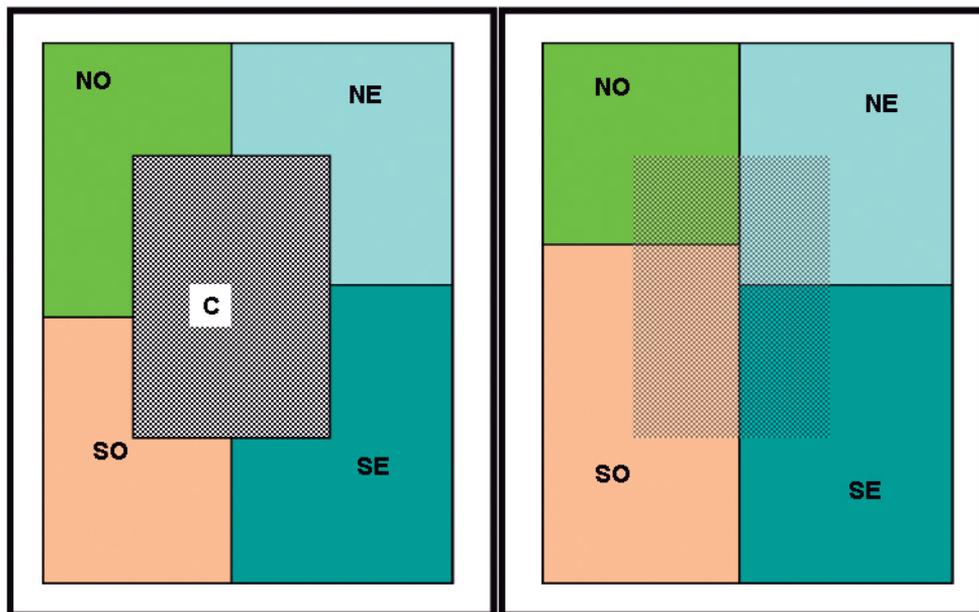
2.2.2. Falacias cartográficas

El mapa es pues un medio de comunicación y, como tal, el mapa puede transmitir una información completa, veraz,... o no. Consciente o inconscientemente el autor de un mapa tiene que manipular la información para poderla transmitir.

En primer lugar, hay que seleccionar los elementos que se representan en un mapa; incluir todos los elementos de la realidad haría ilegible cualquier mapa. Lógicamente, seleccionar unos elementos supone ocultar otros.

Además, hay que tomar una serie de decisiones sobre los individuos de observación: la delimitación territorial que se utilice no es inocua, los diferentes niveles de agregación espacial de datos pueden hacer aflorar u ocultar determinados fenómenos. Se introduce así el denominado problema de la unidad espacial modificable. Imagínese una zona urbana en la que, como suele ser habitual, se concentra población de unas determinadas características muy marcadas por problemas relacionados con la marginación y la exclusión social. La zona no coincide con la unidad menor de agregación espacial de datos sociodemográficos. Nuestra unidad espacial de población en riesgo de exclusión queda así subsumida en una unidad mayor o compartimentada en otras unidades por lo que los datos estadísticos disponibles hacen referencia a una población diferente y no homogénea.

Figura 25. Unidad espacial modificable



Fuente: elaboración propia

Como se observa en la imagen de la Figura 25, nuestra unidad espacial homogénea C puede quedar enmascarada con la zonificación de la derecha o puede analizarse por separado si se utiliza una delimitación como la de la izquierda.

Por último, la percepción por parte del usuario (receptor) del mapa de la realidad representada depende de las decisiones que se tomen sobre colores e intervalos, tal como se puede intuir de lo expresado más arriba: resalte o no de valores extremos, inclusión de valores nulos como intervalo específico o incluido en otras clases, etc.

En definitiva, el lector de un mapa debe tener en cuenta los criterios con los que se ha construido para poder realizar una lectura crítica.

Capítulo 3. *Análisis espacial*

La segunda gran posibilidad que ofrecen los SIG, además de la representación cartográfica, es el análisis espacial, concepto en el que se deben incluir todas las operaciones que sirven para desentrañar el comportamiento de una variable en el territorio tanto de forma aislada como interrelacionada con otras variables del mismo o de distinto tipo de objeto espacial.

Hay que volver a recordar que no es esta una obra académica, de construcción o soporte de paradigmas teóricos, sino ajustada a las necesidades concretas de los profesionales de la salud ambiental. Por eso, se propone entrar en el tema solo de forma somera y con constantes alusiones a ejemplos prácticos en las herramientas de análisis espacial de elementos de un mismo tipo en una sola capa de información geográfica (de puntos, líneas o polígonos) o de distinto tipo o diferentes capas mediante la superposición. Mientras que en el primer caso lo que se busca es descubrir los patrones espaciales de una variable, en el segundo se investiga sobre la interrelación entre variables. Las estrategias de análisis más frecuentes se ilustran además mediante los ejemplos incluidos en el siguiente capítulo. Para profundizar en el conocimiento de estas herramientas de análisis espacial será necesaria la consulta de los numerosos manuales existentes^{vi}.

3.1. Mapas de puntos

Una gran parte de la información que se genera y utiliza en salud ambiental está en este tipo de soporte o formato de referente de datos espaciales. Tanto los datos de muestreo de variables ambientales (calidad del aire, del agua, del suelo, etc.) como los de efectos (enfermedades de posible origen ambiental) están originariamente referidos a puntos, aunque se puedan y deban extrapolar a ámbitos mayores como se verá más adelante. Pero en un primer momento a lo que tiene que enfrentarse un profesional de la salud ambiental es a una nube de puntos que representa las ubicaciones de domicilios, estaciones de muestreo de la calidad del aire, del agua o puntos de toma de muestras de suelo, ubicados en el territorio. Lo primero que hay que intentar entender es la 'forma' que esa nube de puntos adopta en el territorio, la relación geométrica entre los puntos, si están concentrados o dispersos, agregados o regularmente distribuidos. Si se recuerda lo mencionado más arriba en relación al carácter dual de la información geográfica, se entiende que se pueda estudiar por un lado la disposición geométrica de los puntos en el territorio en tanto que simples portadores de coordenadas vacías de contenido y, por otro, el comportamiento de las variables que expresan un contenido diverso (concentraciones de contaminantes, edad de los casos, etc.)

Medidas de centralidad y dispersión

Las medidas de centralidad y dispersión desentrañan la disposición de los puntos en el territorio en términos de probabilidad de ubicación. Son el equivalente a la media, mediana y desviación típica de las distribuciones estadísticas de cualquier serie de datos.

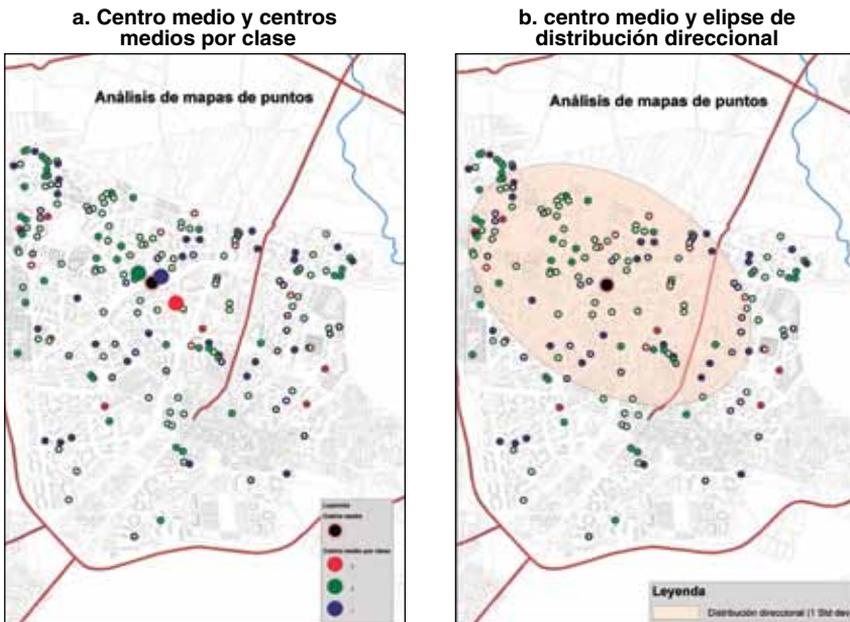
vi. Aquí se utiliza con carácter preferente la información teórica de Bosque Sendra¹⁶

El centro medio de una nube de puntos es un punto teórico cuyas coordenadas x e y son los promedios de las n coordenadas x e y del conjunto de los puntos. Como este punto medio teórico puede ‘caer’ en medio de una zona absurda (en medio de un lago o un parque urbano), se puede utilizar el elemento central que es el punto real (de entre los integrantes de todo el conjunto) que ocupa la posición más cercana al centro medio. Son el equivalente a lo que representan en estadística la media, valor promedio calculado a partir de los datos de una serie, y la mediana o valor real que ocupa la posición central en la misma serie. El centro medio (o el elemento central) se puede calcular para todos los puntos o para cada una de las clases en que estén ordenados mediante una variable cualitativa. Si el promedio se pondera con el peso de una variable cuantitativa se obtiene el centro de gravedad. De esta manera se definen las localizaciones más representativas para el conjunto de puntos.

Utilizando como radio la desviación típica (o distancia típica de los puntos de la nube al centro medio) se construye el área de dispersión típica de los puntos en relación al centro medio o al centro de gravedad. La elipse de variabilidad, también mide la dispersión pero considerando las direcciones dominantes en el conjunto de datos.

En la Figura 26 se pueden observar algunos de estos elementos en una nube teórica de puntos: Centro medio, centros medios según clase de la variable (Figura 26.a) y elipse de distribución direccional (Figura 26.b).

Figura 26. Mapas de puntos. Centro medio y dispersión



Fuente: elaboración propia

En el siguiente capítulo se incluyen ejemplos del uso de estos conceptos en la investigación de una fuente de riesgo en un brote de origen ambiental. Pero también es

útil conocerlos para encontrar, por ejemplo, la localización idónea de un centro de salud pública para minimizar los desplazamientos de los inspectores desde el centro a los establecimientos objeto de la vigilancia.

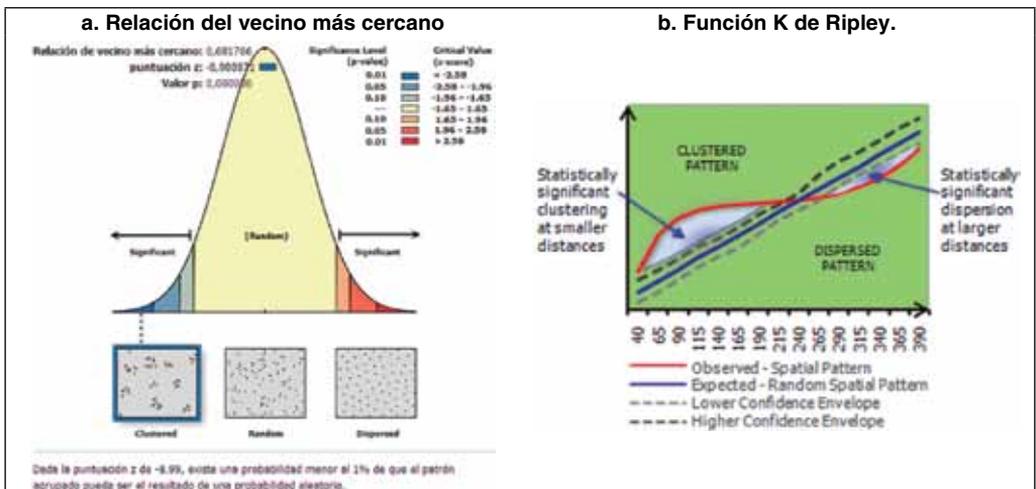
Agregación espacial de puntos

Una vez estudiadas las localizaciones más probables mediante las medidas de centralidad y dispersión, interesa conocer si hay agregación o clúster espacial en una determinada zona. Se utiliza la misma nube de puntos teórica vista en el apartado anterior (ver Figura 26).

Un procedimiento para comprobar la agregación es el análisis del vecino más próximo que confronta la disposición de la nube de puntos en el territorio con una de las tres posibles disposiciones teóricas: aleatoria, regular y agregada. Para ello se establece un cociente entre la distancia media observada entre vecinos más cercanos y la esperada en el caso de que se tratara de una distribución aleatoria.

La relación oscila entre 0 (agregación) y 2,15 (disposición regular). El valor 1 indica disposición aleatoria. En la nube de puntos del ejemplo de la figura anterior, la relación de 0,68 presenta un estadístico significativo al 99% lo que significa que hay menos del 1% de probabilidades de que la distribución de los puntos obedezca a una disposición aleatoria y como se acerca a 0, no se puede descartar la existencia de agregación espacial (Figura 27.a).

Figura 27. Agregación espacial de una distribución de puntos



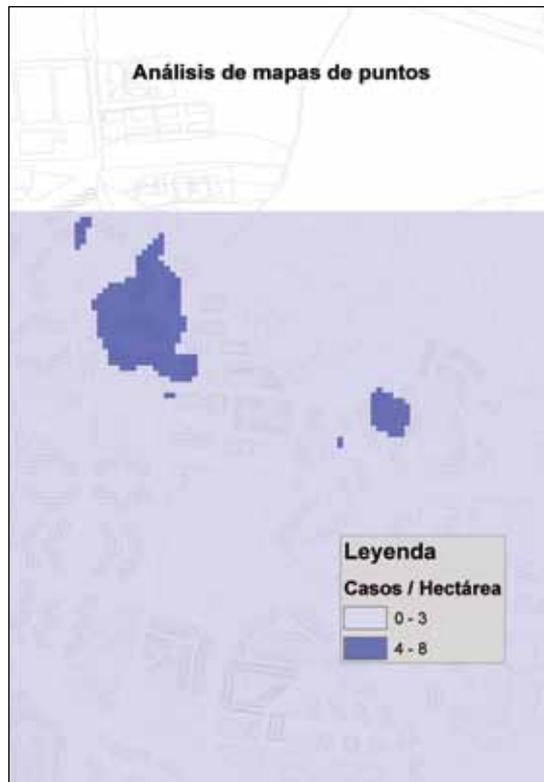
Fuente: ArcGIS®, 2012.

Otra prueba para valorar la posible agregación espacial en una nube de puntos es la función K de Ripley que confronta la disposición de la nube de puntos estudiada con una rejilla de referencia. En lugar de utilizar la distancia entre vecinos más próximos, esta prueba utiliza la densidad de puntos por rango de distancias. Si el valor observado

es más alto que el esperado hay agregación a ese rango de distancia (Figura 27.b).

Una vez comprobada la mayor concentración o dispersión de la nube de puntos y la existencia o no de agregación espacial, es muy interesante realizar un estudio de la densidad de sucesos. Se trata de generar un modelo territorial sencillo que calcula, en una capa ráster, la densidad de puntos proyectada por unidad de superficie (pixel o celdilla). En la Figura 28, sobre la misma distribución de puntos, se centra el interés en las zonas donde la densidad es mayor y donde por tanto, hay que intensificar las tareas de vigilancia. En el siguiente capítulo se utilizan estas técnicas para abordar el seguimiento de un brote de posible origen ambiental.

Figura 28. Densidad de puntos



Fuente: elaboración propia

Hay que señalar que, obviamente, se analiza siempre la agregación y densidad de puntos para un determinado territorio que debe ajustarse al perímetro mínimo que contiene todos los puntos estudiados o el espacio en el que es probable encontrarlos. Si se incluye un territorio más amplio y por tanto 'vacío' de puntos de nuestra muestra, se desvirtúan los resultados. Se entiende esto mejor con un ejemplo. Se han registrado en un mapa los puntos que representan el número de huevos encontrados en los nidos de una especie de anátida en una zona lagunar. Al analizar el posible clúster de los nidos con mayor número de huevos debemos restringir el estudio estrictamente a las dimen-

siones al espacio lagunar, puesto que fuera de él no hay (ni puede haber) ningún nido. Si incluyéramos un espacio más amplio, el resultado sería necesariamente que los nidos están concentrados en las lagunas, pero no se conocería si hay alguna laguna o incluso alguna orilla en particular con mayor concentración de nidos muy poblados.

Autocorrelación espacial

La primera ley de la geografía suena a una tautología y señala que todo está relacionado con todo, pero las cosas próximas están más relacionadas entre sí que las distantes. Se trata de la autocorrelación espacial.

Si la autocorrelación espacial es positiva, la presencia de un fenómeno en un lugar se asocia a la presencia de ese mismo fenómeno en lugares próximos. Si es negativa, la presencia de un valor en un lugar no hace esperable su aparición en lugares limítrofes y si es nula, hay ausencia de asociación espacial entre hechos de la misma naturaleza.

A diferencia de la autocorrelación temporal, que solo maneja una dimensión (la línea temporal), la autocorrelación espacial maneja las tres dimensiones del espacio. Además, la unidad de medida puede variar: la distancia se puede medir en línea recta (distancia aérea o euclidiana), o siguiendo las líneas que marca un callejero (distancia Manhattan); y se puede utilizar como unidad de medida una unidad de longitud o de tiempo empleado en el desplazamiento o de coste económico, energético, etc.

Para estudiar la autocorrelación espacial es necesaria una matriz de conectividad basada en la distancia entre puntos y la variabilidad de la variable a esas distancias.

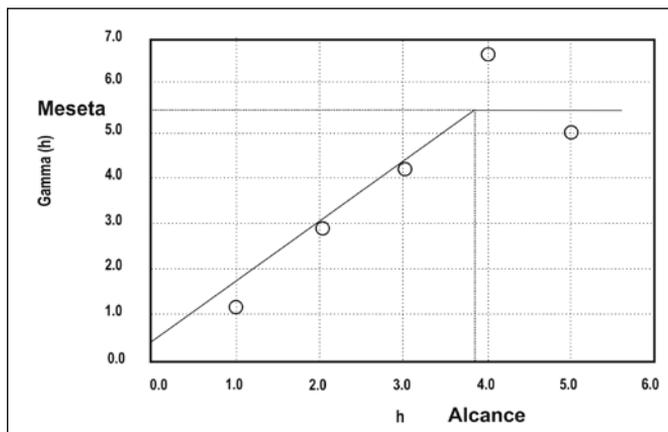
Pero lo importante no es solo determinar si existe autocorrelación sino la forma concreta de la autocorrelación espacial de una variable, es decir, su estructura espacial. Para ello se construye un variograma (ver Figura 29) que representa la variación de los valores de una variable a determinadas distancias y en diferentes direcciones y que define dos parámetros decisivos: el alcance, o distancia a partir de la cual ya no existe autocorrelación espacial de la variable y meseta, que se alcanza cuando la variación de la variable no se explica por la distancia, sino por cuestiones aleatorias (la variación de la variable ha ido creciendo al aumentar la distancia, es decir, al disminuir la autocorrelación).

Una vez conocida la autocorrelación espacial de una variable se puede proceder a realizar una interpolación que permite, a partir de los valores conocidos en una serie de puntos, crear una superficie continua. Esto tiene dos funcionalidades: por un lado, permite predecir valores de una variable en todo el territorio y por otro, visualizar el patrón espacial de una variable, más difícil de apreciar a partir de puntos aislados.

Estas funcionalidades no están exentas de limitaciones. La suavización de tendencias locales, necesaria para minimizar los errores de la predicción, tiende a maquillar valores extremos que pueden ser críticos, por ejemplo, en el caso de la estimación de la exposición a partir de niveles de inmisión predichos. Por otro lado, se asume una

superficie continua, cuando lo cierto es que el territorio está repleto de discontinuidades topográficas (no solo en la naturaleza, también en las ciudades por los edificios, por ejemplo), hidrográficas, meteorológicas y de todo tipo de efectos 'frontera'. Además, la interpolación espacial requiere que haya suficientes puntos para poder realizarla en condiciones de verosimilitud.

Figura 29. Variograma



Fuente: Bosque Sendra, 1992¹⁶

Entre los métodos de interpolación destacan el de la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW por sus siglas en inglés) y el kriging (por el apellido -Krigedel que la ideó). Ambos métodos intentan predecir valores para todos los puntos del territorio a partir de los valores muestrales asignando a estos una determinada ponderación con criterios que son precisamente los que diferencian ambos métodos. Mientras que el primer método concede más peso a los valores muestrales más próximos en virtud del principio de la autocorrelación espacial, el segundo establece los pesos en función del variograma y considera por tanto las magnitudes de este: meseta y alcance.

El IDW suaviza menos por lo que los valores altos predichos están más próximos a los reales. Genera áreas concéntricas en torno a los puntos muestrales.

El kriging permite generar valores predichos y también los errores de la predicción, minimizados por este método si se considera el territorio en conjunto. Los valores predichos están más suavizados lo que puede no ser siempre conveniente en salud ambiental en virtud del principio de precaución.

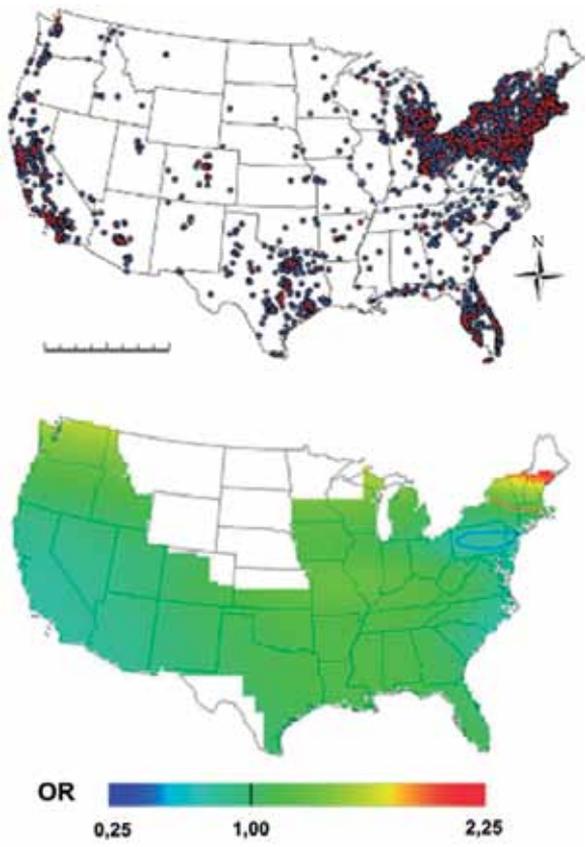
Cañada Torrecilla et al³⁷ realizan una comparación entre IDW y kriging y concluyen que "la valoración que podemos realizar de la utilización de ambos métodos de interpolación es que, aunque de manera general se repite el mismo patrón espacial, existen diferencias de detalle al comparar ambas superficies. Mientras que el método kriging ofrece una mayor consistencia estadística, un análisis más elaborado, una interpolación menos brusca, con áreas de transición menos abruptas y con menores errores en la predicción, el IDW ofrece una menor complejidad en el cálculo, tiende a formar

Se puede ver un ejemplo concreto de aplicación de los modelos de regresión en el estudio de asociación espacial entre localización y riesgo de artritis reumatoide³⁸ en el que se analizan datos a nivel individual de mujeres procedentes del Estudio de Salud de Enfermeras, un estudio de cohorte a escala nacional realizado en Estados Unidos.

Entre las participantes en la encuesta se incluían 461 casos de artritis reumatoide y 9.220 controles con direcciones geocodificadas. Las participantes fueron seguidas desde 1988 a 2002. Se usaron modelos aditivos generalizados (GAM por sus siglas en inglés) para predecir una superficie continua de riesgo suavizando la longitud y latitud, al tiempo que se controlaban los factores de riesgo conocidos (16 variables individuales).

Los resultados mostraron que había un área, estadísticamente significativa, de mayor riesgo de artritis reumatoide en los estados del noreste de los Estados Unidos ($p= 0,034$). El riesgo resultó generalmente más alto en latitudes más septentrionales y se incrementó ligeramente cuando se usaron los domicilios de 1988 comparados con los del momento del diagnóstico (o registro).

Figura 31. Autorregresión espacial.



Arriba. Distribución de los casos (rojo) y controles (azul). **Abajo.** *Odd Ratios*. Las líneas representan zonas con riesgos más altos (rojo) o más bajos (azul) con un nivel de significación del 95%. Fuente: Vieira et al. 2010³⁸

Según los autores de este estudio, el análisis espacial es una herramienta útil para confirmar las hipótesis sobre la existencia de exposición o para generar nuevas hipótesis y, en este caso, los análisis espaciales sugieren que las mujeres que viven en latitudes altas pueden tener mayor riesgo de sufrir artritis reumatoide.

3.2. Mapas de líneas

El análisis espacial de mapas de líneas o análisis de redes abarca muchas posibilidades como la representación digital de redes (nodos y aristas), la descripción de aristas (longitud y razón de sinuosidad), las medidas de cohesión de una red (índices de cohesión), las distancias y recorridos (para la determinación del camino óptimo), las medidas de accesibilidad topológica, el análisis de proximidad y accesibilidad o los modelos de localización y asignación.

No hay muchos ejemplos de uso en salud ambiental por lo que se incluye aquí un ejemplo de su uso en planificación de actividades de promoción de la salud, un caso concreto en el que se han utilizado capas de líneas para estudiar la accesibilidad a un centro joven de salud (ver Figura 32).

Figura 32. Análisis de mapas de líneas. Zona de estudio



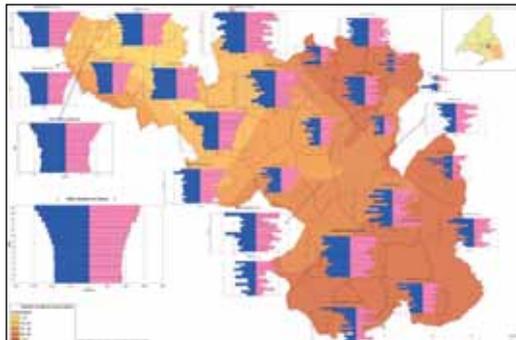
Fuente: elaboración propia

El Centro Joven de Salud (CJS) de Rivas Vaciamadrid en la Comunidad de Madrid es un centro de atención sociosanitaria dedicado a la promoción de la salud y a la prevención de los principales problemas relacionados con factores de riesgo de los adolescentes y jóvenes. El centro se diseñó siguiendo las recomendaciones de la OMS que insiste en la necesidad de crear servicios sanitarios “amigables” para los adolescentes, innovadores y bien valorados, accesibles y equitativos, aceptables, apropiados, integrales, eficaces y eficientes, que ayuden a los jóvenes a acceder al tipo de atención que necesitan³⁹.

El centro está enfocado a la población adolescente y joven, de 12 a 25 años, del

área de referencia, constituida por unas 124.000 personas. Como complemento a este objetivo básico se pretende dar apoyo a los equipos de atención primaria, equipos de salud mental, centros de atención a drogodependientes y servicios sociales y sanitarios municipales de su área de influencia.

Figura 33. Análisis de mapas de líneas. Población de estudio



Fuente: elaboración propia

En línea con la necesaria accesibilidad del centro recomendada por la OMS, se querían conocer los tiempos empleados en el desplazamiento de los potenciales usuarios desde sus viviendas hasta el CJS y realizar una cartografía que fuera útil a los profesionales del centro y a sus usuarios.

Para ello se analizó la accesibilidad por transporte público al CJS diferenciando dos segmentos:

- Itinerario a pie desde la vivienda hasta la estación de transporte público más cercana.
- Itinerario realizado en un medio de transporte público. Se utilizaron dos velocidades medias de 25 y 40 Km/h.^{vii}

La población de cada portal se calculó mediante superposición de capas geográficas a partir de la información por sección censal. A cada portal se le asignó el promedio de la población residente en cada sección censal, mediante el procedimiento descrito en Gómez et al⁴⁰. Así mismo, se le asignaron como atributos la distancia y el tiempo empleado andando desde el portal a la parada más cercana y desde dicha parada al CJS en el medio de transporte correspondiente.

La suma de tiempos aporta diferentes escenarios que se trasladan del mapa de puntos (portales) al mapa de superficie (isócronas).

El 33% de la población comprendida entre 12-25 años empadronada en el área de referencia vivía a menos de 15 minutos del CJS usando el transporte público. El porcentaje de jóvenes de esas edades que vivían a menos de media hora se elevaba al 95%.

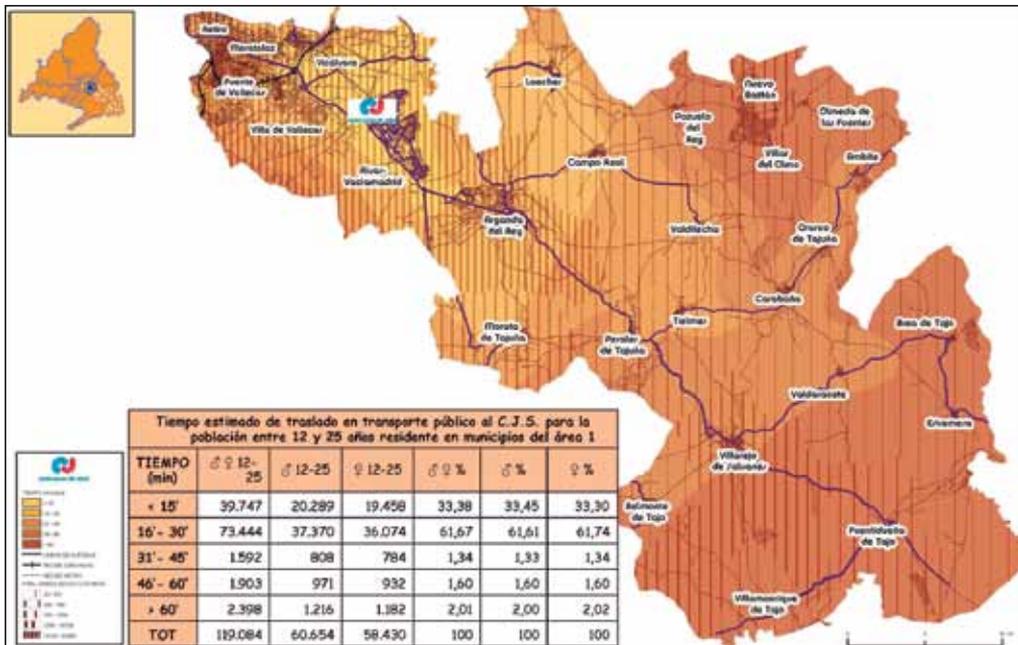
^{vii}. Se han obtenido estas velocidades de la Web de la Asociación Internacional de Transporte Público: <http://www.uitp.org/publications/pics/AR.pdf> (visitado 26/06/2012).

Figura 34. Análisis de mapas de líneas. Estudio de accesibilidad



Fuente: elaboración propia

Figura 35. Análisis de mapas de líneas. Isócronas y población



Fuente: elaboración propia

Como apoyo a los profesionales del centro y a la difusión de información del mismo se elaboraron una serie de mapas y servidores de mapas:

- Tres mapas de recursos socio-sanitarios (centros educativos, juveniles, etc. con los que el centro deberá relacionarse).
- Veintisiete mapas de comunicaciones del Centro Joven con cada uno de los municipios de área.
- Mapas con información demográfica y mapa de isócronas. Como ejemplo se muestra el mapa de estructura demográfica por edad y sexo de la población diana (12 – 25 años).
- Un visor cartográfico, con acceso a través de la Intranet de la Consejería con toda la información geográfica utilizada y con herramientas de análisis espacial para uso interactivo.

La cartografía y el visor cartográfico vía intranet que se proporciona a los profesionales del centro constituyen una herramienta importante para la planificación de las actividades y para dar una cobertura idónea a toda el área así como para conocer la ubicación exacta de todos los recursos socio-sanitarios.

El uso de sistemas de información geográfica en promoción de la salud, en particular y en salud pública, en general, ofrece una serie de utilidades que de forma resumida se concretan en:

- Aportar de forma sincrónica información variada, relevante y versátil para la planificación y la intervención.
- Ofrecer dicha información en mapas, que facilitan su uso y comprensión.
- Dar la posibilidad de acceder a la información aportada mediante herramientas específicas en visores cartográficos, de forma interactiva, permitiendo obtener resultados adaptados a las necesidades del usuario.

Es necesario un mantenimiento continuo de la información espacial y de las herramientas construidas pues tanto aquella como estas se ven sometidas al cambio a que están sujetas las variables sociodemográficas y territoriales (transporte público, servicios sociales, sanitarios, educativos, etc.).

3.3. Mapas de polígonos

Medidas de la forma de un polígono

Así como el análisis inmediato de los puntos hace referencia a su característica geométrica inmediata (coordenadas), el análisis preliminar de los polígonos hace referencia también a sus características geométricas inmediatas: tamaño y forma.

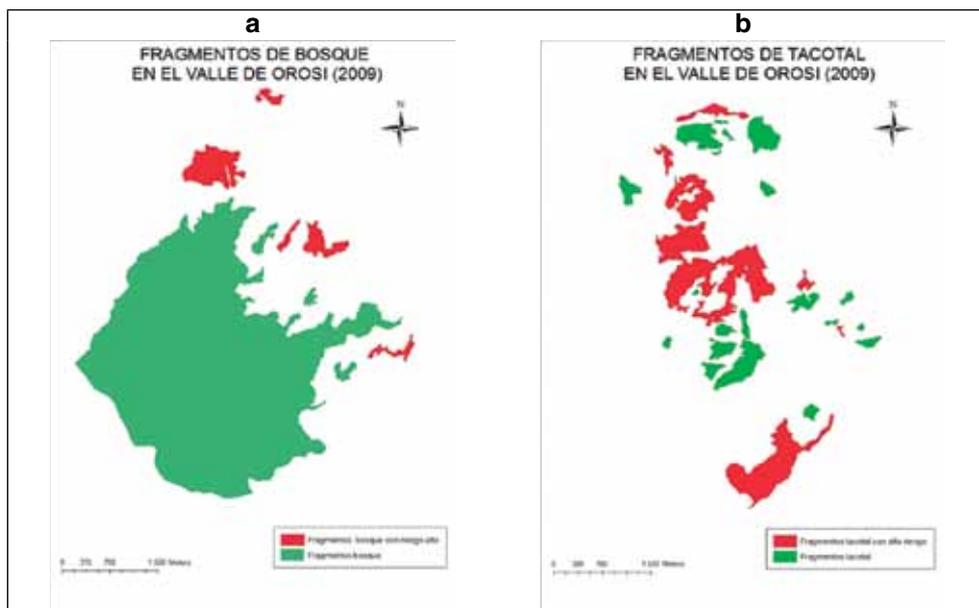
Al igual que pasa con el análisis de redes, no hay muchas muestras del uso del análisis de forma de polígonos en salud ambiental.

Se ilustra este apartado con un estudio de forma de polígonos para valorar la potencial pérdida de biodiversidad en el Valle de Orosí en Costa Rica⁴¹. Se utilizó la razón de circularidad que relaciona el área del polígono con el área de un círculo de igual perímetro⁴².

Los usos del suelo estudiados fueron el bosque (tropical húmedo, siempre verde con árboles de tamaño entre 15-40m) y el tacotal (matorrales que sustituyen a los bosques que fueron deforestados para su utilización como potreros-pastos. Se puede identificar como bosques primarios, los primeros estadios de la regeneración del bosque). Son usos cuyo tamaño y forma se consideran fundamentales para el desarrollo de ecosistemas y para la conservación de la biodiversidad.

Se hizo un análisis de la forma de los fragmentos de bosque y tacotal, pudiendo conocer qué unidades se encontraban en mejor situación para la conservación de la biodiversidad, pero sobre todo, pudiendo identificar aquellas unidades con alto riesgo, en las que la supervivencia de ciertas especies se vería altamente dificultada a corto y largo plazo a causa del efecto borde, directamente relacionado con la forma de cada fragmento (Figura 36).

Figura 36. Análisis de la forma de un polígono



Fuente: elaboración propia

Para analizar la forma del polígono se considera su lobulación, ya que un polígono muy lobulado tendrá un perímetro muy superior a otro de forma similar, pero cuyo contorno sea liso.

Conociendo la razón de circularidad (R_c) se podrá hacer un análisis del efecto borde producido en cada fragmento de bosque y tacotal, ya que este es más importante

en fragmentos muy irregulares o alargados que serán transversalmente más fáciles de atravesar. Al comparar la forma de los fragmentos, los que sean más lobulados y más elongados serán los que tengan un valor de R_c más bajo.

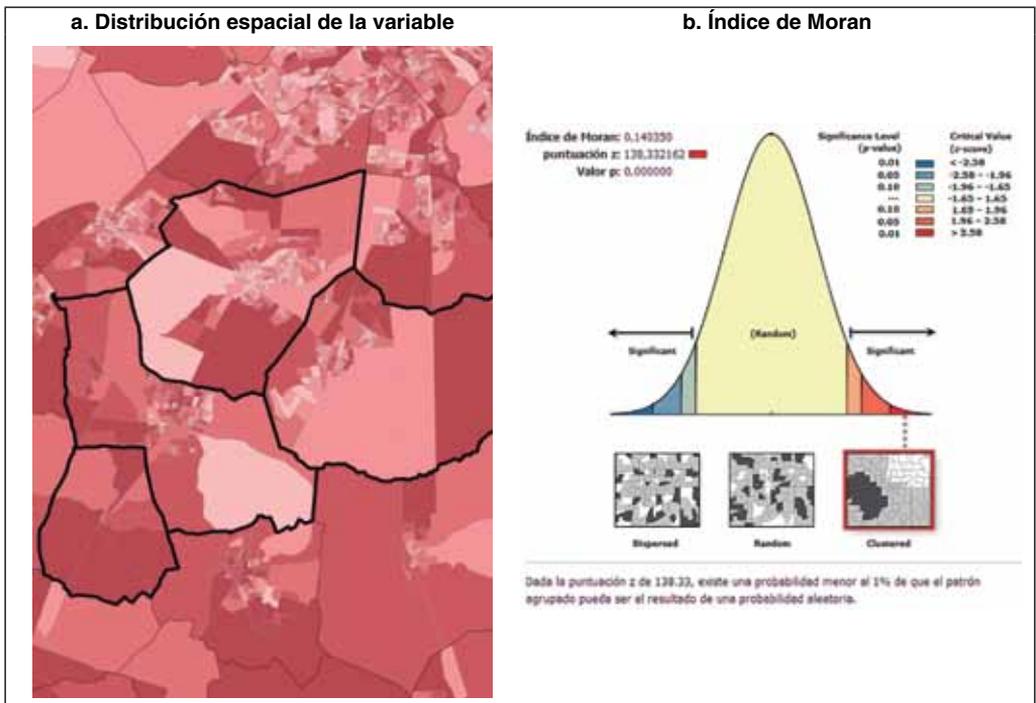
Se consideraron los valores inferiores a 0,30 como los de mayor exposición al efecto borde, siendo los que se encuentran en situación más crítica y en los que se deberían centrar los esfuerzos en conservación.

Autocorrelación espacial

Para el análisis espacial de variables tanto cualitativas como cuantitativas asociadas a polígonos baste decir que las posibilidades son muy similares a los puntos descritos más arriba, pero teniendo en cuenta que el problema de la distancia se resuelve con el concepto de contigüidad (variable binaria: polígono contiguo o no), o con las distancias entre centroides de los polígonos.

Se trata de buscar agregaciones espaciales de valores similares o *clusters*. En la Figura 37 se observa cómo se autocorrelaciona positivamente y con mucha intensidad y significación estadística (aplicando el índice de Moran) la variable representada. Esto quiere decir que la variable está relacionada espacialmente consigo misma y valores parecidos se agregan en polígonos colindantes. Como se ha visto, las cosas próximas están de forma natural más relacionadas entre sí que las distantes (primera ley de la geografía).

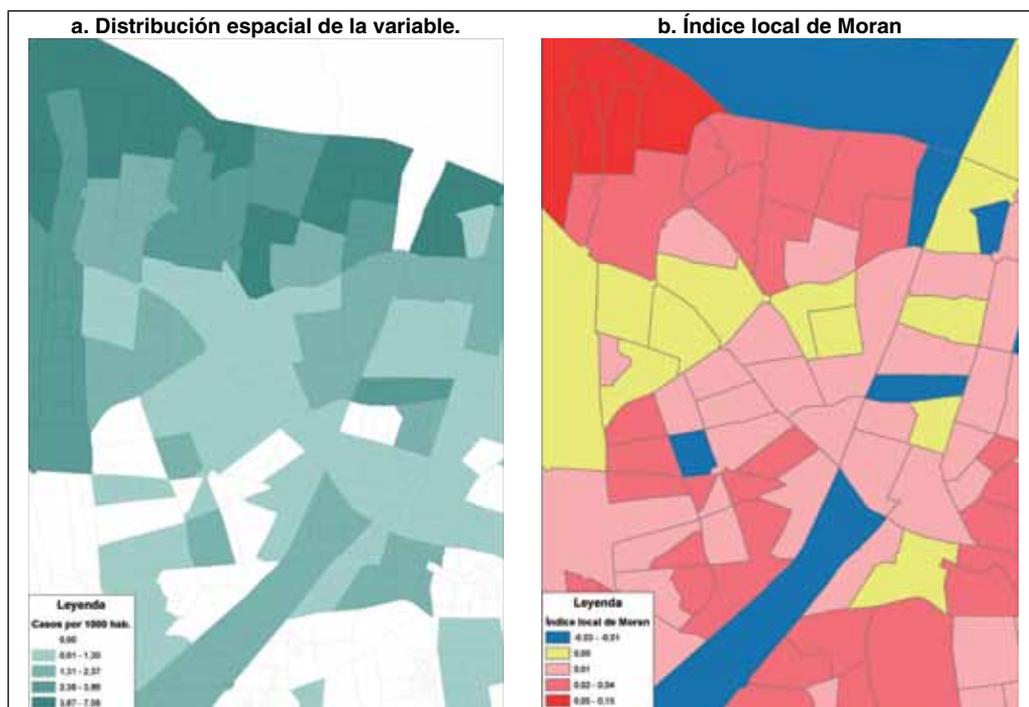
Figura 37. Autocorrelación espacial



Fuente: elaboración propia

En el siguiente ejemplo se puede ver paso a paso cómo se aborda este tipo de análisis. Se trata de un mapa de distribución de una variable cuantitativa por secciones censales. Un valor positivo del índice local de Moran calculado para cada sección censal muestra que una sección está junto a otras colindantes con valores similares de la variable en estudio, por lo que se puede estimar en un primer momento que esta sección forma parte de un *cluster*. Por el contrario, un valor negativo indica que una sección tiene secciones colindantes que presentan valores disímiles; esta sección es un valor atípico (*outlier*).

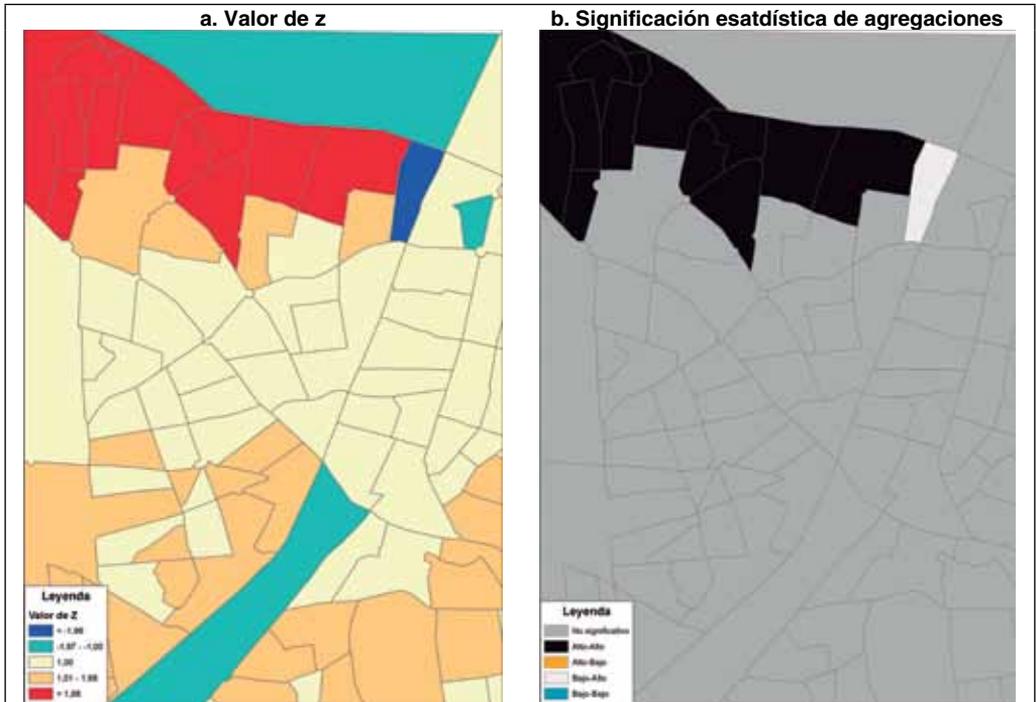
Figura 38. Agregaciones espaciales de variables cuantitativas.



Fuente: elaboración propia

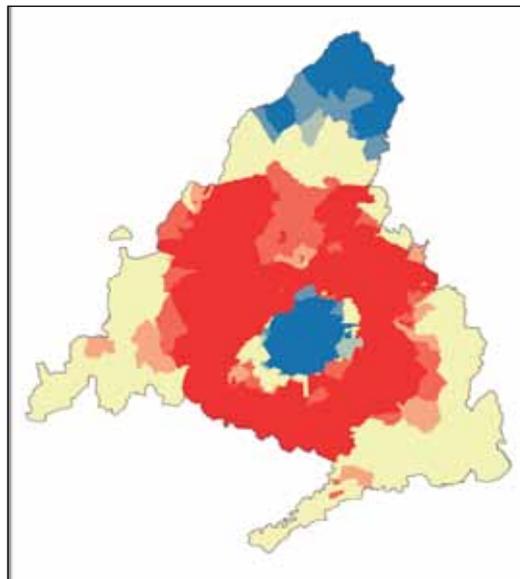
Tal como se observa en la Figura 38, el índice de Moran es negativo (colores azules), donde una sección está rodeada de secciones con valores muy diferentes, independientemente de que el valor de la variable sea alto o bajo. En cambio, los colores cálidos representan secciones en las que los valores de sus vecinos son del mismo rango. El índice local de Moran ofrece un valor relativo que solo se puede interpretar dentro del contexto de su puntuación z o por su valor calculado de p . En la Figura 39 se ve en el mapa de la izquierda cómo solo algunos de los índices calculados son significativos (valor de $z > \pm 1,96$) y, en el mapa de la derecha, si el tipo de agregación que generan es de valores altos (en este caso negros), de valores bajos (no aparece ninguno en este sector) o bien aparecen valores atípicos (color blanco).

Figura 39. Significación estadística de agregación de casos



Fuente: elaboración propia

Figura 40. Agregación espacial de valores extremos



Fuente: elaboración propia

El análisis de *cluster* se puede hacer de forma que se detecten en una misma imagen las agregaciones espaciales tanto de los valores altos como de los valores

bajos utilizando también el estadístico de Getis-Ord. En la Figura 40 se cartografían estas agregaciones estadísticamente significativas para la variable población de 0 a 4 años por secciones censales y se observa cómo en el centro de un área urbana con población presumiblemente envejecida se agregan las secciones con valores más bajos de ese grupo de población (colores azules), mientras que un anillo exterior, con población más joven, presenta los valores más altos (colores rojos). Otro *cluster* de valores bajos aparece también en un área rural al norte del territorio en cuestión, es decir donde vuelven a aparecer poblaciones envejecidas.

3.4. Superposición de capas

Aunque lo descrito hasta aquí evidencia las muchas posibilidades del análisis espacial, lo que realmente presenta posibilidades encadenadas ilimitadas es la superposición de capas.

Las técnicas de superposición de capas utilizan simultáneamente las características espaciales y temáticas de datos geográficos de distinto origen para generar nuevos objetos geográficos cuyas características se derivan de las que tenían los iniciales.

Una primera ventaja es la derivada del hecho de que cada elemento de análisis es representado en una capa, por lo que se puede modificar individualmente un elemento para hacer un reanálisis, permitiendo evaluar diferentes estrategias.

Los ejemplos de superposición de capas son muy numerosos y se exploran a lo largo de los ejemplos que se citan en este libro.

El uso de capas existentes permite, mediante su superposición, determinar la existencia de puntos o líneas en polígonos, generando nuevos atributos, derivados de la pertenencia o de la distancia, en los objetos superpuestos.

Hay una cuestión que hay que tener siempre en cuenta: los polígonos no siempre se superponen perfectamente pese a compartir límites, a causa de una posible digitalización defectuosa. Esta limitación puede afectar a otra de las posibilidades relacionada en cierta medida con la superposición que es la unión o agregación de objetos geográficos, que se puede usar para variables cuantitativas y cualitativas.

La superposición no solo puede incorporar nuevos atributos en capas existentes sino que permite crear capas nuevas, mediante la generación de áreas de influencia o análisis de vecindad. Estas áreas de influencia, a su vez pueden superponerse entre sí o con otras capas para generar nueva información.

Por último, en este encadenamiento sinfín de potencialidades hay que recordar que puede ser conveniente para la superposición de capas el cambio previo de tipo de objeto espacial. Una capa de puntos puede dar lugar a líneas o a polígonos mediante la generación de áreas de influencia, polígonos de Thiessen o modelos de interpolación espacial; una capa de líneas puede originar una de polígonos (área de influencia) o de puntos (punto medio); y una capa de polígonos es en sí una capa de puntos (centroi-

des). Todas ellas, además, pueden dar lugar a la creación de capas ráster, mediante las operaciones de análisis espacial pertinentes.

En la Figura 41 se observa cómo una capa de puntos se convierte en una capa de polígonos mediante la creación de polígonos de Thiessen que son polígonos que heredan el atributo o los atributos de los puntos y cuya forma geométrica está definida por la intersección de las mediatrices de los segmentos que unen los puntos muestrales. Es decir, no se interpolan los valores de los puntos, sino que se asume que los atributos de la variable que se esté considerando en una zona determinada del territorio son iguales a los del punto medido más cercano.

Figura 41. De puntos a polígonos. Polígonos de Thiessen



Fuente: elaboración propia

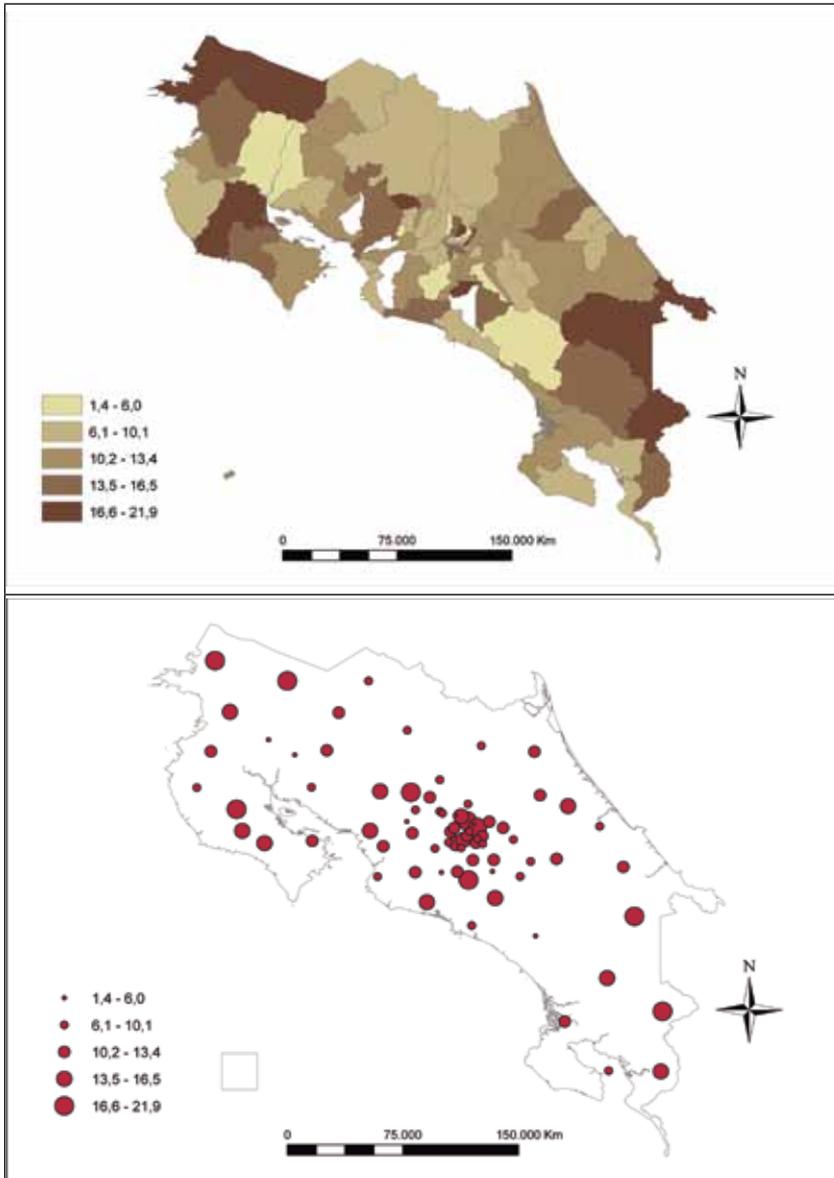
El procedimiento inverso consiste en convertir un mapa de polígonos en un mapa de puntos (Figura 42). Se asume en este caso que los atributos de un polígono son heredados por su centroide.

Como síntesis de este apartado, en el siguiente ejemplo se pueden observar las múltiples posibilidades de la superposición de capas para realizar un análisis de proximidad. Se trata de una zona urbana en la que se simula la posible exposición de una serie de casos a una fuente lineal de riesgo (un río, un límite con una zona contaminada, una carretera, etc.). En principio se dispone de las siguientes capas:

- Domicilios de los casos (puntos)
- Secciones censales (polígonos)
- Conjunto de domicilios de todos los residentes en la zona (puntos)

- Elemento de riesgo (línea)
- Calificación urbana del suelo: suelo edificado, suelo vacante, suelo rural, etc. (polígonos).

Figura 42. De polígonos a puntos. Centroides



Fuente: elaboración propia

Combinando la capa de secciones censales y la de domicilios de toda la población (portales), se puede asignar una población a cada portal. Un ejemplo más detallado de cómo hacerlo se ve más adelante (ver 4.1.3 Evaluación de impactos ambientales).

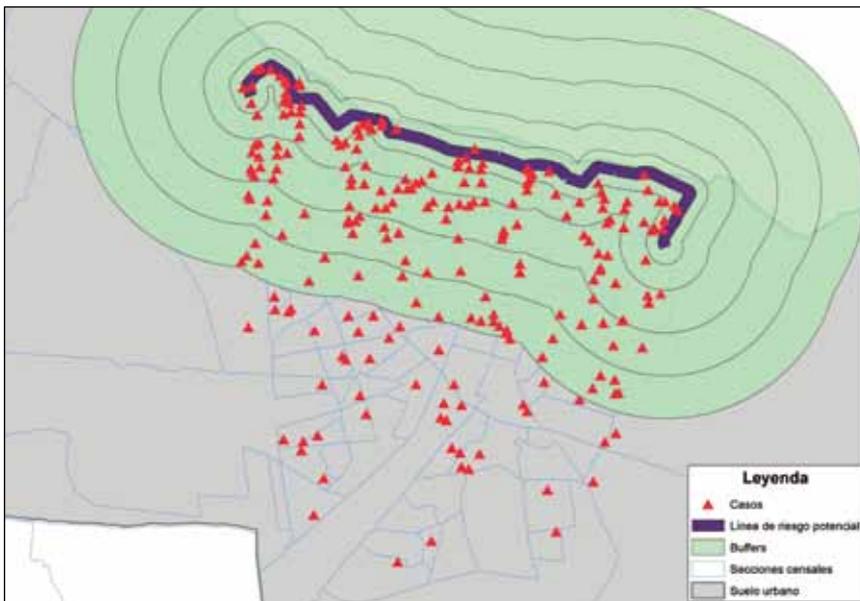
Figura 43. Superposición de capas. Capas originales



Fuente: elaboración propia

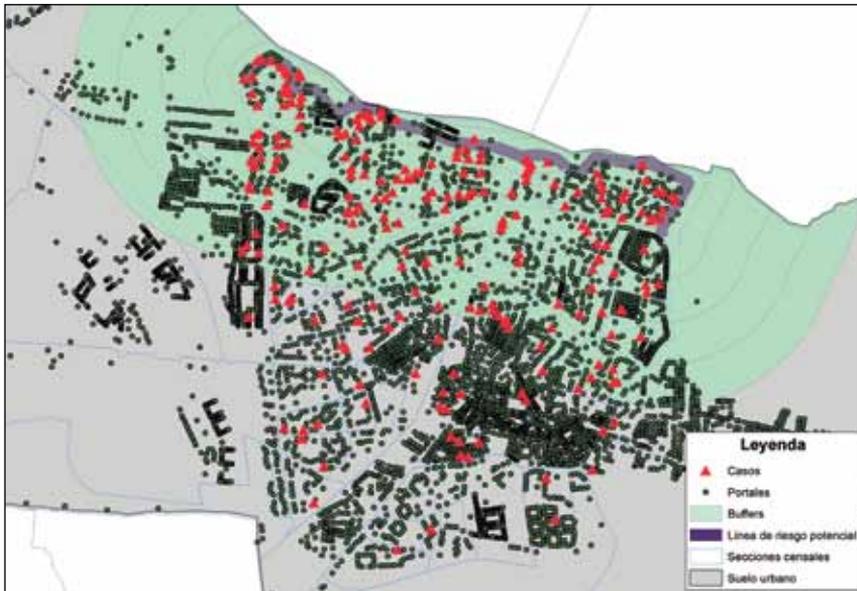
Además, se construye una capa con las distancias a la fuente de riesgo mediante áreas de influencia (*buffers*). Una vez construida esta nueva capa se recorta mediante superposición con la capa de calificación urbana del suelo, puesto que el territorio que interesa es el suelo edificado.

Figura 44. Superposición de capas. Generación de áreas de influencia



Fuente: elaboración propia

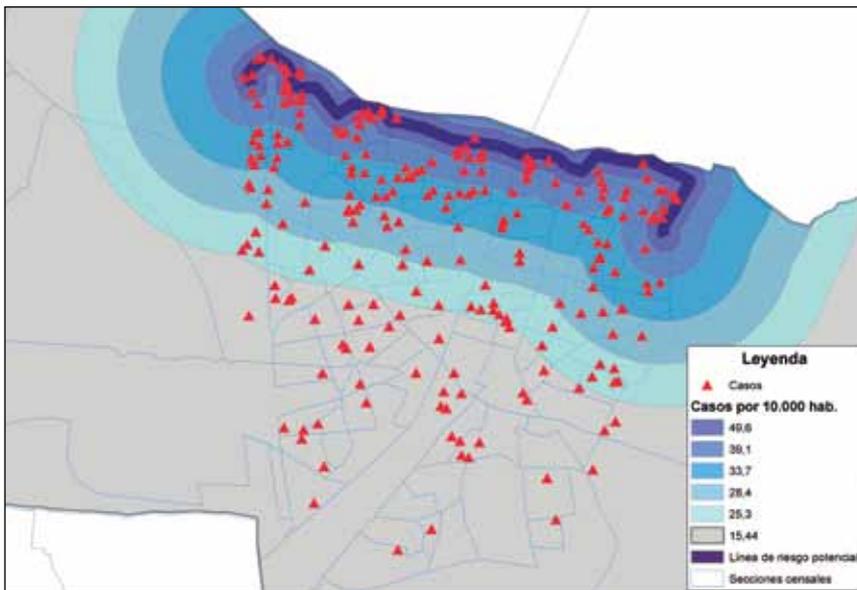
Figura 45. Superposición de capas. Recorte



Fuente: elaboración propia

Si se superpone la capa de áreas de influencia a la de casos, se obtiene el número de casos en cada rango de distancia a la fuente. La misma operación con los portales permite obtener el denominador: la población residente en cada rango de distancia. De esta forma se puede disponer de la medida del gradiente de una variable determinada desde la fuente de riesgo potencial.

Figura 46. Superposición de capas. Cálculo de tasas según distancia a la fuente



Fuente: elaboración propia

Un interesante análisis de riesgos combinados para la salud, procedentes de diferentes orígenes, en grupos de población vulnerable se puede consultar en Gómez et al⁴⁰ donde se evalúan estos riesgos mediante la superposición de numerosas capas.

La mayor parte de las posibilidades examinadas en este capítulo están expresadas en forma de ejemplos concretos y aplicaciones específicas para problemas de salud ambiental a lo largo del capítulo siguiente.

PARTE SEGUNDA

APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA A LA SALUD AMBIENTAL

Capítulo 4. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica a la salud ambiental

Este capítulo constituye la parte esencial del libro, la que le da la razón de ser a toda la obra. El capítulo quiere ser un espejo de lo que se ha publicado en este tema y de lo que se ha experimentado, a veces sin publicar. Al mismo tiempo quiere servir como ejemplo y guía de actuación para resolver los problemas que se planteen a los profesionales de la salud ambiental en el desarrollo de su trabajo. Por eso se ha querido repasar en este capítulo los ítems de la cartera de servicios de sanidad ambiental en los que estas herramientas pueden ser de mayor utilidad: la vigilancia de la contaminación atmosférica y de la calidad del agua y sus efectos en salud, la vigilancia de la exposición a sustancias químicas, la justicia ambiental, las desigualdades, los brotes de enfermedades transmisibles de origen ambiental, el cambio climático, la evaluación de impactos en salud...

Es inevitable que los ejemplos que aquí se recogen sean pronto un material anticuado, superado por las innovaciones que los profesionales del ámbito de la salud ambiental desarrollen (sin contar con las exponencialmente crecientes posibilidades tecnológicas). Pero, para que eso ocurra hay que cimentar el crecimiento en el conocimiento de los itinerarios que otros han transitado.

Se incluyen aquí experiencias extraídas de la literatura reciente que predominantemente pertenecen al ámbito anglosajón. Como los destinatarios de este libro son los profesionales iberoamericanos de ambas orillas del Atlántico se ha querido completar el cuadro con aportaciones específicamente elaboradas para este libro. La selecta lista de expertos consultados garantiza que los ejemplos aquí recogidos sean los suficientemente relevantes, inteligentes y, sobre todo, útiles como para merecer estar en el libro.

Como ya se ha mencionado, un elemento clave en la aplicación de estas herramientas está en las posibilidades que presenta para indagar acerca de la relación espacial que se produce en el proceso de exposición, es decir entre la emisión de contaminantes y los potenciales efectos en la población humana. Gran parte de las experiencias reunidas en el conjunto de este capítulo se centran en la exposición desde ángulos diferentes: desde la distinción entre zonas de exposición y no exposición hasta medidas que tienen en cuenta factores territoriales y temporales a escala individual. Pero también ofrece posibilidades interesantes la mera representación cartográfica, o mapeo como se quiere decir en algunas partes de Iberoamérica.

En la primera parte de este capítulo se reúnen las referencias extraídas de la literatura junto a las experiencias propuestas por los autores del libro, en este caso sin citar datos reales, fruto de su trabajo cotidiano durante los últimos veinte años. En la segunda parte se reúnen las aportaciones originales expresamente elaboradas para este libro. Cada experiencia utilizada en este capítulo hace alusión a alguna de las posibilidades de análisis y representación definidas en los capítulos precedentes.

4.1. Revisión de estudios de salud ambiental que utilizan sistemas de información geográfica

4.1.1. Diagnóstico y vigilancia de riesgos asociados a aguas de abastecimiento

Agua y salud

El acceso a un agua segura es esencial para la salud, un derecho humano y un componente de las políticas de protección de la salud⁴³. La importancia que tiene la provisión de agua potable y la existencia de redes de saneamiento han sido reflejadas en las declaraciones de diferentes foros internacionales, tal como la Conferencia de Atención Primaria que tuvo lugar en Alma Ata en el año 1978. Posteriormente, en la Conferencia de Mar de la Plata (Argentina), se lanzó la Década del agua (1981-1991), con el compromiso de dotar a toda la población mundial, tanto de un suministro de agua potable como de un sistema de recogida de aguas residuales, Década que se amplió vistos los exiguos resultados obtenidos en los países menos favorecidos. Los objetivos de Desarrollo del Milenio aprobados por la Asamblea General de Naciones Unidas en el año 2000 vinculan la provisión de agua potable a la reducción de la mortalidad infantil y a garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. La Conferencia Mundial para el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo del año 2002 volvió a insistir en el mismo sentido. Por último, la Asamblea General de Naciones Unidas ha declarado el período 2005-2015 como el Decenio Internacional para la Acción bajo el lema “Agua para la vida”, y en marzo de 2010 tuvo lugar en Zaragoza la Conferencia “Agua limpia para un mundo sano”, organizada por la Oficina de Naciones Unidas de apoyo a este Decenio.

A pesar de que se reconoce que el acceso al agua es una necesidad humana básica al mismo tiempo que un derecho fundamental, lo cierto es que, en nuestro mundo de prosperidad creciente, más de mil millones de personas se ven privadas del derecho a un agua limpia y 2.600 millones no tienen acceso a un saneamiento adecuado⁴⁴. Estas impresionantes cifras reflejan tan solo una de las dimensiones del problema. Cada año mueren cerca de 1,8 millones de niños como consecuencia directa de la diarrea y otras enfermedades causadas por el agua sucia y por un saneamiento insuficiente. A comienzos del siglo XXI, el agua sucia es la segunda causa de muertes infantiles en el mundo. Diariamente, millones de mujeres y niñas recogen agua para sus familias, un ritual que refuerza las desigualdades de género en los ámbitos del empleo y la educación. Mientras tanto, la mala salud asociada a los déficit de agua y saneamiento afecta a la productividad y el crecimiento económico, reforzando las desigualdades características de los actuales modelos de globalización y confinando en ciclos de pobreza a los hogares vulnerables.

Los SIG en el control de las infraestructuras y de la calidad del agua de abastecimiento

En el apartado siguiente de este capítulo se podrán ver algunos ejemplos, narra-

dos por sus propios responsables, del uso de los SIG aplicados al control y vigilancia de la calidad del agua potable.

Entre otros, el Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC)⁴⁵ que, junto al ATLANTIS⁴⁶, herramienta de representación cartográfica, centraliza la información sobre los abastecimientos de agua potable y su situación sanitaria en España.

Tal como se ha señalado, una de las funciones de los SIG aplicados a la salud ambiental, y en absoluto desdeñable, es la representación cartográfica, que añade un nuevo valor a la información, contrasta los valores locales con los adyacentes, próximos y lejanos, aportando pistas sobre posibles asociaciones con otras variables y generando por tanto un conocimiento que no se puede obtener con las series de datos dispuestas en tablas o gráficos. ATLANTIS y SINAC reúnen otra de las características principales de los SIG: la de que son un vehículo de inapreciable valor para compartir y descentralizar el uso de la información. (Ver apartado 4.2.1)

También habrá más adelante la oportunidad de conocer la experiencia con SIG en el Sistema de Vigilancia y Control de Aguas de Consumo Humano de Catalunya. (Ver apartado 4.2.8)

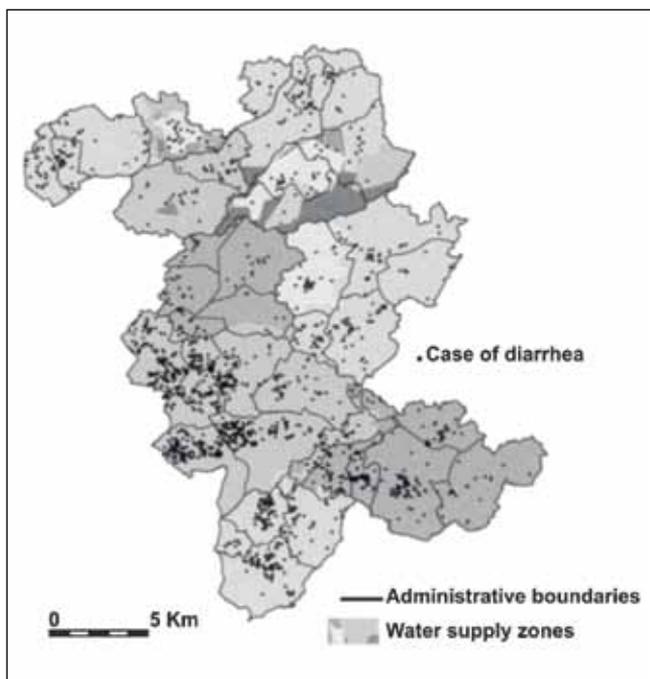
Dangendorf et al⁴⁷ llevan a cabo un estudio retrospectivo sobre infecciones gastrointestinales en el distrito de Rhin-Berg (Renania del Norte-Westfalia, Alemania) que se caracteriza por tener diferentes estructuras de abastecimiento de agua. El principal objetivo fue examinar la hipótesis de que las variaciones espaciales de las enfermedades diarreicas pueden estar ligadas a las diferentes fuentes de abastecimiento (agua superficial o subterránea). El análisis geoestadístico reveló variaciones espaciales en la incidencia de enfermedades diarreicas. Los parámetros que hacen alusión a las infraestructuras de abastecimiento, especialmente la cantidad de agua procedente de la superficie o del subsuelo se correlacionó con la incidencia de tasas estandarizadas por edad de infecciones gastrointestinales, gracias a que factores como la distribución de la población, las estructuras de abastecimiento de agua y los casos declarados (capa de puntos) habían podido ser unidos en un solo SIG. (Ver figura 47)

El riesgo para la salud es el resultado de una interacción compleja entre el medio ambiente y la población. Los factores de riesgo dependen de variables sociales, ambientales y de salud tales como la presencia de fuentes de contaminación, la dinámica de los contaminantes en el medio, el comportamiento de la población y la accesibilidad de los grupos expuestos a los sistemas sanitario y educativo.

El análisis integrado de riesgo para la salud se basa en la elección de indicadores específicos de salud ambiental y su proyección espacial. No obstante, hay que tener presente que los datos sobre calidad del agua, por ejemplo, no implican necesariamente la aparición de una determinada enfermedad. Del mismo modo que, en el sentido inverso, una variación en los indicadores de salud (p.e. en la tasa de incidencia de muertes infantiles por diarreas) tampoco pueden ser específicamente atribuidos a la contaminación del agua porque otros factores tienen su propio peso: el estatus econó-

mico o educativo, el acceso a los servicios asistenciales, etc.

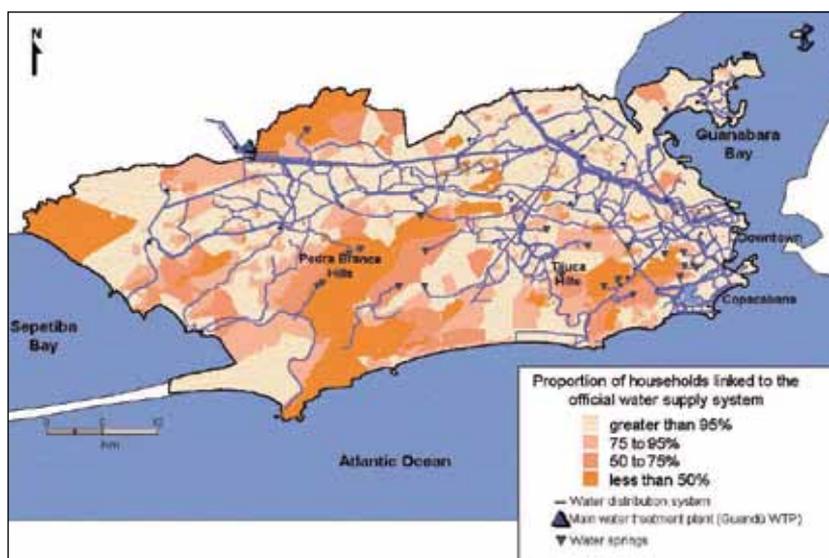
Figura 47. Diarreas y abastecimiento de agua en el Distrito del Rin-Berg. Alemania



Fuente: Kistermann. 2002⁴⁸

Con estas premisas, Barcellos et al^{49,50} estudiaron el riesgo para la salud relacionado con la vulnerabilidad del abastecimiento de agua en Río de Janeiro.

Figura 48. Sistema de abastecimiento de agua de Río de Janeiro



Fuente: Barcellos. 1998⁴⁹

Los autores trabajan con las capas de secciones censales, datos epidemiológicos, sistema de distribución del agua de consumo (depósitos, estaciones de tratamiento, redes) y calidad del agua (a partir de los parámetros analizados en las estaciones de muestreo).

Se identificaron como áreas de riesgo:

- Las zonas con frecuencia alta de contaminación por coliformes (áreas de influencia de 1 Km en torno a los puntos de muestreo en los que más del 20% de las muestras presentaban contaminación por coliformes fecales);
- Las áreas predominantemente servidas con aguas de origen local como manantiales que pueden contaminarse por residuos sólidos y líquidos (áreas de influencia de 2 Km alrededor de los manantiales)
- Los espacios distantes de los principales tramos de la red de distribución (áreas de 0,5 Km de radio)
- Las secciones censales con más del 50% de la población sin conexión al sistema público de abastecimiento.

La población residente en estas áreas supone un 35% según el primer criterio; un 10% para el segundo criterio; la misma cifra -10%- para el tercero; y un pequeño porcentaje de población (2%) en áreas extensas con abastecimientos alternativos (pozos o manantiales). Una acumulación de factores de riesgo se verificó en algunos grupos socioespaciales específicos desfavorecidos.

El 2% residente en áreas autoabastecidas están representados tanto por habitantes de favelas como por residentes en lujosas mansiones. El impacto en salud obviamente es divergente debido a que los residentes privilegiados pueden acceder a consumo de agua de calidad asegurada, están más informados sobre las enfermedades relacionadas con el consumo de agua y pueden disponer de mejor y más rápida asistencia sanitaria. He aquí cómo un criterio utilizado de forma simplista puede conllevar errores importantes en la cuantificación y evaluación de la población expuesta.

Los autores también abordan la asociación entre calidad de agua y distancia al origen del abastecimiento elaborando una matriz de correlación que relaciona la calidad del agua y la distancia, bien a la planta principal de tratamiento de la red pública, bien a las captaciones de los manantiales locales. Los datos obtenidos revelan que los parámetros de flúor y de cloro son peores según aumenta la distancia a la estación de tratamiento. Las concentraciones de cloro no sufren un descenso significativo a lo largo de las conducciones quizás por la presencia de estaciones de recloración en la red de distribución. Por su parte, la proximidad a los manantiales locales implica menos concentración de cloro y más frecuente contaminación por coliformes.

Los autores concluyen que a pesar de las mejoras en el abastecimiento de agua en Río de Janeiro, donde un 95% de la población las disfrutaba ya (a principios de los años 90 del siglo XX que es cuando están tomados los datos del trabajo), todavía subsisten problemas que afectan a la calidad del agua de consumo y que relegan a una

situación espacialmente desfavorecida a una parte de la población.

La utilidad de los sistemas de información geográfica para el diagnóstico de las infraestructuras de abastecimiento y la detección de riesgos es notable también en países en desarrollo, tal como se observa en el estudio realizado por Gopal et al⁵¹ en la aldea de Nelvoy en el estado de Tamil Nadu en India. Sin información espacial previa se georreferenciaron las calles, viviendas, sistema de abastecimiento de agua y de recogida de aguas residuales, servicios higiénicos públicos y áreas de defecación en campo abierto mediante el uso de GPS y de software SIG. La cartografía resultante puso de manifiesto la agregación espacial de zonas sin abastecimiento de agua regular, la proximidad de zonas de acumulación de vertidos líquidos y sólidos respecto a depósitos de almacenamiento de agua o de conducciones de agua de consumo humano, la existencia de lugares donde los canales de aguas residuales circulan por encima de las tuberías de agua de consumo o el cruce de ambas infraestructuras en otras zonas.

Por su parte, Shittu et al⁵² utilizan los SIG junto a la información procedente de sensores remotos para analizar los problemas de sostenibilidad y contaminación bacteriológica del abastecimiento de agua en Alabata, una comunidad en el Suroeste de Nigeria. Las coordenadas de las instalaciones relevantes como el mercado, las escuelas, vertederos y fuentes de abastecimiento de agua se obtuvieron mediante GPS. Mediante un SIG e imágenes de satélite se construyó un mapa base inexistente hasta entonces donde se situaron las instalaciones. La comunidad depende del agua de lluvia durante la estación húmeda porque el pozo superficial se llena con el agua de escorrentía. Un pozo sostenido por UNICEF es utilizado exclusivamente para agua de bebida y da servicio a 10 aldeas vecinas a más de 30 minutos de caminata que se reparten por tiempos el acceso al agua. El estudio, apoyado por herramientas SIG demuestra que las áreas rurales de Nigeria tienen problemas de sostenibilidad en la provisión de agua de abastecimiento público.

Arsénico en aguas de abastecimiento público

La presencia de arsénico en el agua subterránea de grandes extensiones territoriales constituye un problema de salud pública en muchos lugares del mundo.

Las concentraciones de arsénico en el agua subterránea de Bangladesh constituyen un enorme desastre social y sanitario ambiental, mayor incluso, por sus consecuencias, que los accidentes de Bhopal en India en 1984 o el de Chernobil en Ucrania en 1986⁵³. *“La contaminación del agua freática con arsénico en Bangladesh es, hasta la fecha, el mayor caso de envenenamiento de una población registrado en la historia: millones de personas han estado expuestas al arsénico..... A principios de los años setenta se instalaron pozos entubados para abastecer de «agua pura» y prevenir la morbilidad y mortalidad debidas a las enfermedades gastrointestinales. No se analizó la posible contaminación con arsénico del agua de los millones de pozos entubados que se instalaron porque a la sazón no se tenía conciencia de ese problema”* ⁵³

Manzurul Hassan⁵⁴ estudia este problema utilizando los SIG en combinación con

instrumentos de investigación cualitativa. Parte de la idea de que el SIG convencional centra su interés en las representaciones de fenómenos sociales y ambientales que reflejan el punto de vista del experto más que las percepciones o los enfoques desde abajo hacia arriba. “*En algunos casos los SIG son acusados de transformar malos datos en mapas de aspecto impresionante*”⁵⁴.

Los objetivos del trabajo de Manzurul se centran en la integración del conocimiento local, diferenciado socialmente, en forma de mapas, por una parte y, por otra, en la integración de las percepciones de la comunidad en un SIG para planificar el número y ubicación de nuevos sondeos de pozos profundos para abastecimiento de agua que mitiguen los efectos del arsénico, puesto que su contenido en las aguas subterráneas de Bangladesh decrece con la profundidad según se ha comprobado en diversos estudios⁵⁴.

La zona de estudio es el distrito de Ghona en el Suroeste de Bangladesh en la llanura del Ganges, con 2.460 viviendas en las que residen 13.287 habitantes con bajos ingresos y bajos niveles de educación.

La metodología que se utiliza es la de un SIG con participación comunitaria (PPGIS, por sus siglas en inglés). La investigación cualitativa se abordó, en una primera fase, con 23 entrevistas con cuestionarios abiertos a enfermos y no enfermos de diferentes ocupaciones y, posteriormente, mediante tres diferentes grupos de discusión compuestos por agricultores, profesores y dirigentes políticos locales respectivamente. En las reuniones de cada uno de los grupos, tras discutir acerca de las localizaciones más adecuadas para la ubicación de los pozos, se marcaban las ubicaciones propuestas sobre un mapa de la zona preparado al efecto. Con los tres mapas mentales superpuestos y las áreas de influencia que reflejaban la distancia umbral que cada grupo consideraba como máxima admisible entre las viviendas y el pozo, se obtuvo el diseño final de la localización de nuevos pozos profundos, situados, tal como habían señalado los grupos, en escuelas y mezquitas.

De esta forma, con el PPGIS se puede planificar según las necesidades de la población y teniendo en cuenta el conocimiento de los participantes en los grupos de discusión con lo que se minimizan las distorsiones propias de la información espacial ‘oficial’: los SIG se suelen concentrar más en resolver las “cuestiones fáciles” de las investigaciones ambientales que en el análisis sociocultural, más multidimensional y complejo. La combinación de bases de datos espaciales y mapas mentales perceptivos facilita un mayor conocimiento compartido de problemas locales.

Merece la pena señalar también el uso que se ha hecho de los SIG en la estimación de niveles de arsénico en el medio. Zhang et al⁵⁵ aplicaron el SIG para buscar la asociación entre niveles ambientales y casos de envenenamiento por arsénico en una zona en Tailandia de minas de estaño abandonadas pero con miles de toneladas de residuos abandonados. Mediante interpolación espacial, a partir de datos muestrales, estimaron los niveles en acuíferos superficiales, acuíferos profundos y en el suelo. Se encontró que los niveles en agua eran más altos en las cercanías de las minas y zonas

de acumulación de residuos y que había una diferencia significativa entre la concentración de arsénico en acuíferos dentro y fuera de la zona de distribución de los pacientes.

Una aproximación similar (interpolación por el método del inverso de la distancia ponderada –IDW^{viii}), pero con el objetivo de estudiar de forma más individualizada la exposición, se utiliza para estimar los niveles de concentración de arsénico en las residencias de 299 sujetos de una muestra utilizada en Cochran, Texas por Gong et al⁵⁶. El estudio investiga la posible asociación entre niveles de arsénico en agua de bebida y funciones cognitivas en una cohorte de adultos en el medio rural. Las funciones cognitivas se miden en este estudio con el mini examen del estado mental de Folstein (MMSE por sus siglas en inglés) que es el instrumento de evaluación más común y que contempla la orientación de lugar y tiempo, la relación entre atención y concentración, el lenguaje y la memoria verbal. Los datos de arsénico en agua (promedio de los últimos años) procedían de 85 muestras de agua subterránea de la zona de estudio proporcionados por la Oficina de Gestión del Agua de Texas.

Los resultados mostraron que el grupo con niveles de arsénico en agua inferiores a 10 µg/L tenían más alta puntuación de MMSE.

En el apartado segundo de este capítulo se incluye una experiencia del uso de SIG para valorar el hidroarsenicismo en varios departamentos de la provincia de Buenos Aires en la Argentina. (Ver apartado 4.2.2)

4.1.2. Vigilancia de riesgos de enfermedades y brotes de probable origen ambiental

Brotes de legionelosis como ejemplo de brotes de origen ambiental

La legionelosis es un término genérico que se utiliza para definir la enfermedad causada por bacterias del género *Legionella*. El primer brote conocido ocurrió en un hotel de Pensilvania en 1976 y afectó a 221 asistentes a una convención de la Legión Americana de los que 34 fallecieron. Desde esta fecha se han producido en el mundo numerosos brotes epidémicos y casos aislados de legionelosis. En España el brote con mayor número de casos confirmados (650) se produjo en Murcia en el año 2001.

*Legionella*⁵⁷ vive y se desarrolla en ambientes acuáticos naturales como ríos, lagos y embalses desde donde puede colonizar los sistemas de abastecimiento de las ciudades, incorporándose a instalaciones de agua doméstica o industrial y otros dispositivos “amplificadores” como son las torres de refrigeración, los condensadores evaporativos, los sistemas de agua caliente sanitaria, etc. La presencia de incrustaciones calcáreas, sedimentos, biocapas bacterianas y otros elementos en la superficie de las conducciones de estas instalaciones, junto con temperaturas situadas entre 25-45° C, propician la multiplicación de la bacteria. Los nutrientes necesarios para esta amplificación proceden de organismos presentes en el agua como algas, amebas y otras bacterias. *Legionella* es un parásito intracelular facultativo capaz de multiplicarse en amebas y

viii. Ver el capítulo de análisis espacial de mapas de puntos.

otros protozoos de agua dulce, siendo este un mecanismo que protege a las bacterias de los desinfectantes y de otros factores adversos. No tiene reservorio ni en animales ni en el ser humano.

La infección se contrae a través de las vías respiratorias por inhalación de aerosoles o por aspiración de agua que contiene la bacteria.

Brotos de origen ambiental y SIG

En el Instituto de Salud Pública de la Comunidad de Madrid se desarrollaron diversas experiencias⁵⁸ en el manejo y aplicación de los SIG al programa de legionelosis en tres campos específicos e interrelacionados: la vigilancia de casos esporádicos, la vigilancia sanitario-ambiental de las instalaciones de riesgo y la intervención ante situaciones de alerta en salud pública por esta enfermedad.

Para empezar, nos centramos en las propuestas metodológicas de estudio espacial de brotes diseñadas a lo largo de estas experiencias, aunque lo hacemos con datos ficticios. Se pueden consultar otras experiencias parecidas llevadas a cabo en la Dirección General de Salud Pública de la Generalitat Valenciana^{59,60}, así como en la Generalitat de Catalunya de las que se incluye un trabajo original para este libro más adelante. (ver apartado 4.2.8)

Se proponen aquí tres estrategias para afrontar un brote de posible origen ambiental. Primero, el análisis de proximidad de casos e instalaciones de riesgo; segundo, el estudio de la distribución espacial de puntos potenciales de exposición (domicilios y lugares frecuentados por los casos); tercero el análisis de densidad de puntos de exposición. Después, se propone el uso de los SIG distribuidos para la vigilancia de casos esporádicos y detección temprana de brotes.

Aplicación del análisis de proximidad.

Una vez confirmada la situación de brote epidémico es importante incrementar la densidad de puntos de estudio. En un primer momento, el único dato espacial que se conoce de un caso es su lugar de residencia pero la encuesta epidemiológica añade otros datos que representan igualmente una posibilidad de exposición: lugar de trabajo, lugares visitados y su frecuencia durante el periodo de incubación (ocio, compras...), desplazamientos y medios de transporte utilizados, etc. Esta información espacial se convierte en una serie de puntos, líneas y/o polígonos a representar en el mapa (ver Figura 49). Hay que considerar cada caso de forma individual de manera que esta 'descentralización' de las posibles exposiciones aporte información sobre agregaciones con otros casos individuales en las mismas ubicaciones de interés (no se trata de incrementar la densidad de puntos en una zona determinada asignando más de un punto a cada caso). Aunque esta operación es compleja desde el punto de vista de análisis estadístico, desde el punto de vista de representación cartográfica es sencilla y, a la vez, muy esclarecedora: se trata de asignar símbolos y colores distintos a cada caso y

a cada tipo de exposición (lugares de ocio, residencia, trabajo, etc.) que a simple vista permitan detectar zonas problema.

Figura 49. Análisis de mapas de puntos en un brote epidémico de origen ambiental



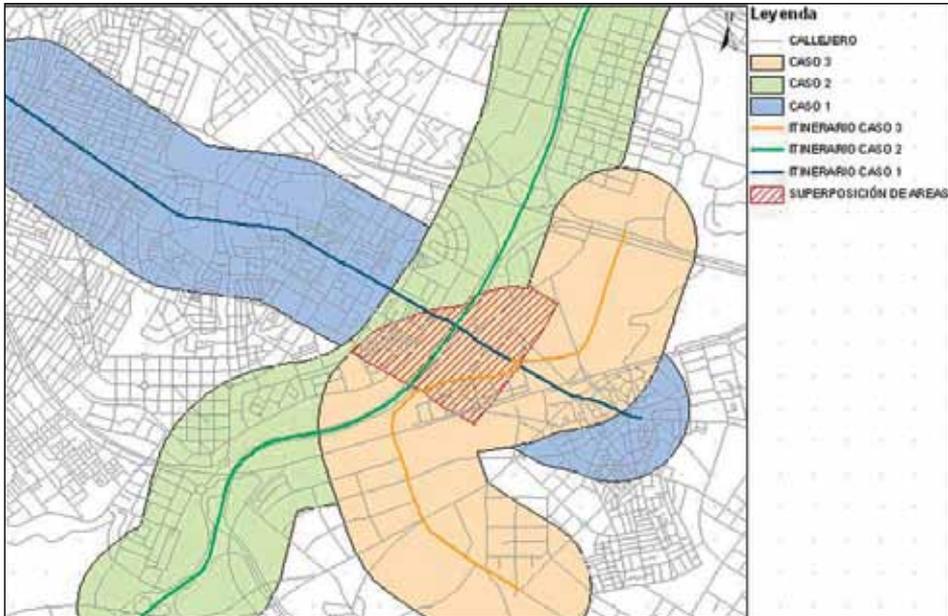
Fuente: Elaboración propia. Datos simulados

El siguiente paso consiste precisamente en la determinación de esas zonas problema mediante el dibujo de áreas de influencia y su superposición. Ahora bien, ¿desde dónde establecemos el origen de las áreas de influencia, desde la posible causa o desde la certeza del efecto, es decir, desde las instalaciones o desde los casos? En principio la opción más intuitiva es establecer una zona de influencia desde las instalaciones en las que puede haberse originado la emisión del agente (origen de la exposición) y contar los casos que están dentro de ella. Sin embargo hay objeciones que hacen a esta lógica elección. Por un lado, suele ser mayor el número de instalaciones en una zona urbana que el de casos declarados en una alerta, lo que dificulta tanto la representación como el análisis e introduce ruido en el mapa, cuestión que no es baladí en momentos de trabajo cargados de incertidumbres. Por otro lado, hay que considerar que los casos son ciudadanos que se desplazan y en esos desplazamientos han podido estar expuestos a la emisión de aerosoles contaminados, por lo que las áreas de influencia en torno a los casos (puntuales y longitudinales a partir de sus desplazamientos) es necesario establecerlas de todas formas para estudiar los espacios donde se pueda ubicar una instalación emisora sospechosa (ver Figura 50).

La superposición de áreas de influencia así establecidas puede por último ‘descubrir’ alguna zona en la que investigar más de cerca la posible existencia de instalaciones no conocidas oficialmente, no censadas: difícilmente podríamos haber establecido las áreas desde unas instalaciones desconocidas. De esta forma la superposición de áreas de influencia cumple una doble función: permite detectar las agregaciones de casos en el territorio en zonas concretas para incrementar en ellas la vigilancia de las instalaciones censadas y, a la vez, permite priorizar estas zonas para hacer una búsqueda activa

de instalaciones no conocidas. Esta doble función agiliza enormemente y mejora la eficiencia de una de las actividades que más tiempo y esfuerzo exigen en toda crisis en salud ambiental: las labores de inspección sobre el terreno.

Figura 50. Análisis de proximidad. Investigación en brotes de origen ambiental



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados

Aunque hay que conocer la rosa de los vientos de la zona durante el período de posible exposición, esto es, el porcentaje de direcciones de los vientos desde los cuatro puntos cardinales, es preferible optar por la forma circular para el área de influencia. El concepto circular vale también para las áreas de influencia longitudinales a partir de líneas o poligonales a partir de polígonos puesto que si el área se dibuja desde una línea, en realidad hacemos un círculo para cada uno de los infinitos puntos de dicha línea. Esto obedece al principio de precaución⁶¹, ya que, aunque siempre hay una o varias direcciones dominantes, en cualquier momento del periodo de exposición el viento ha podido soplar de alguna de las direcciones de los 360 grados de la rosa.

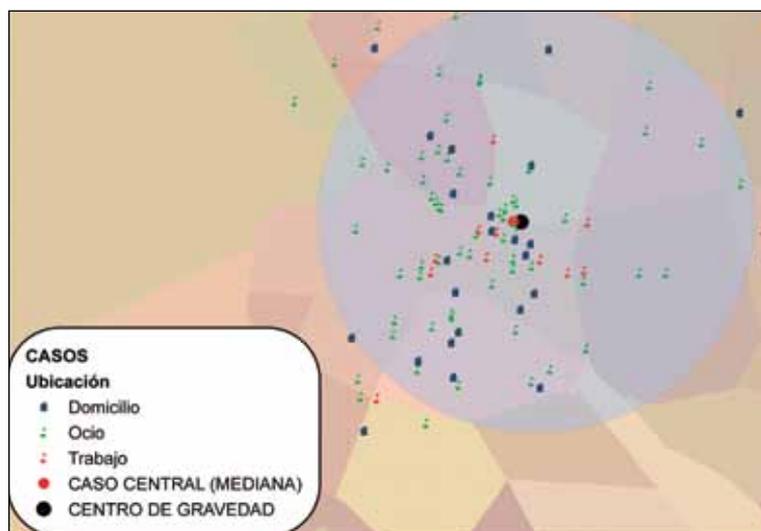
Hay que hacer una referencia a otro tema crucial y controvertido: la elección del radio de la zona de influencia. No hay acuerdo en la literatura sobre la distancia entre el origen (foco o focos) de una infección por *Legionella* y los casos declarados. Aunque parece que el estudio de brotes causados por una fuente puntual establece que la infección se puede producir incluso a distancias de 1,5 – 1,7 km de grandes instalaciones generadoras de aerosoles^{62,63,64,65} el estudio de casos esporádicos considera que la distancia de 500 metros⁶⁶ es determinante. En todo caso, la exposición ambiental está generalmente relacionada de forma inversa con la distancia por lo que es esperable que se agreguen más los casos en las proximidades de la fuente emisora. Además, en un territorio densamente ocupado por la población y por instalaciones generadoras de aerosoles (los brotes suelen presentarse en centros urbanos en los que coinciden

ambas variables), una distancia superior haría del territorio un continuo espacial indiferenciado convertido todo él en área problema, con lo que desaparecería el interés del establecimiento de áreas de influencia. Solo en el supuesto de que no se detectasen agregaciones utilizando esta distancia, tendría sentido ampliar el radio puesto que la dispersión de casos estaría avalando la existencia de una fuente lejana.

Aplicación de las medidas de centralidad y dispersión a un brote espacialmente concentrado.

En las imágenes que siguen se puede apreciar la aplicación de este tipo de análisis univariante de una distribución de puntos. Se trata de un brote (imaginario) de casos de legionelosis^{ix} concentrado en el territorio en el que lo primero que se ha hecho es cartografiar los posibles puntos de exposición: domicilios, lugares de trabajo y lugares visitados por otros motivos (ocio, compras, etc.) obtenidos en la encuesta epidemiológica.

Figura 51. Dispersión de exposiciones, centro de gravedad de los puntos de exposición y caso central



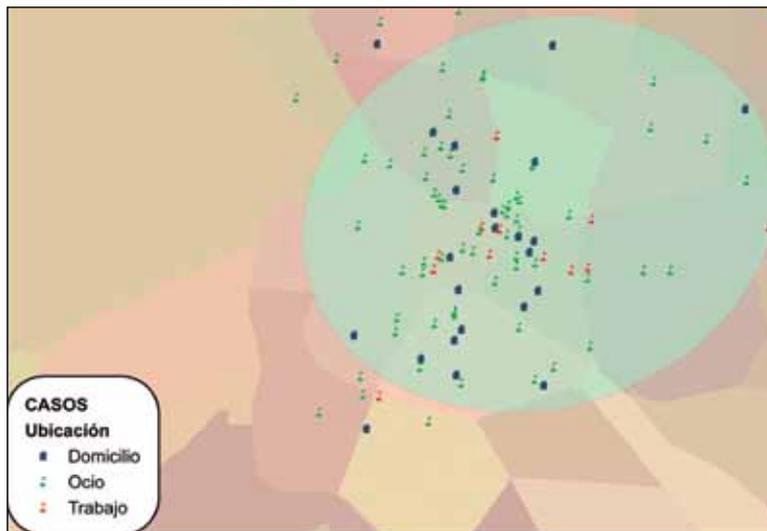
Fuente: Elaboración propia. Datos simulados

Se construye de esta forma una nube de puntos cuya forma y dimensiones definimos mediante el centro medio y la dispersión (ver Figura 51). Recordemos que el centro medio se obtiene mediante la media aritmética de las coordenadas x e y de todos los puntos de exposición. El centro se puede ponderar por una variable cuantitativa concediendo más peso a los puntos donde esta variable sea mayor (en este caso podríamos por ejemplo construir una variable de peso a partir de la cantidad de tiempo

^{ix}. Fuente: elaboración propia a partir de datos ficticios. Los datos reales de un brote de estas características, que no se publican, fueron proporcionados por los Servicios de Epidemiología y de Sanidad Ambiental. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. 2010 (inédito).

que el sujeto ha pasado en cada uno de los puntos de exposición) En este caso se habla de centro de gravedad. El centro medio, como el centro de gravedad, puede ser único para todos los puntos o lo podemos estratificar en varios centros según una variable de clasificación (en este caso, por ejemplo, el tipo de punto: domicilio, lugar de trabajo o de ocio); o lo podríamos estructurar también en varios centros según una variable de zonificación (por ejemplo, un centro de gravedad para cada barrio). Además el centro de gravedad puede ser teórico o puede ser el punto real de nuestros registros que se encuentre más cercano a ese centro de gravedad, es decir, el elemento central.

Figura 52. Elipse de dispersión direccional

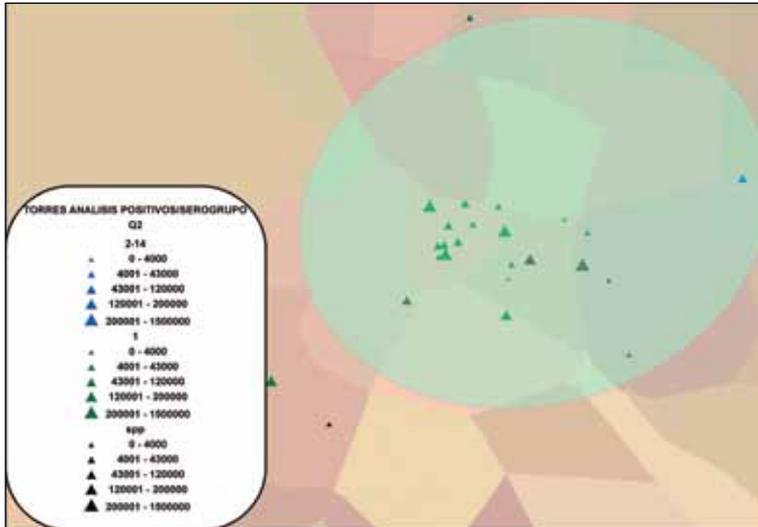


Fuente: Elaboración propia. Datos simulados

A partir del centro o centros de gravedad se construye un círculo en el que se han producido la mayor parte de los puntos de exposición. El radio del círculo es la desviación estándar de las distancias entre los puntos de exposición. De esta forma se dibuja en el mapa la forma teórica en la que se distribuirían los puntos de exposición sin considerar la tendencia espacial, es decir, sin considerar si los puntos tienen una aparición aleatoria en la rosa de los vientos o si por el contrario tienen una (mayor o menor) orientación. Para corregir esta carencia es preferible construir la elipse de dispersión que tiene en cuenta esta tendencia espacial (ver Figura 52).

En un tema como la legionelosis, en el que la exposición al agente infeccioso se produce mediante aerosoles y por tanto en el que la dirección de los vientos dominantes tiene una importancia fundamental, considerar la dispersión direccional es básico. De hecho, la dirección de la elipse encontrada puede ser la misma que la de los vientos dominantes en la zona en la que se produce el brote por lo que dentro de la elipse hay más probabilidad de encontrar las posibles fuentes de emisión de los aerosoles con altos contenidos de colonias de bacterias (ver Figura 53).

Figura 53. Instalaciones de riesgo y su relación con la elipse de dispersión de los puntos de exposición



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados

Aplicación de las medidas de densidad a un brote espacialmente disperso.

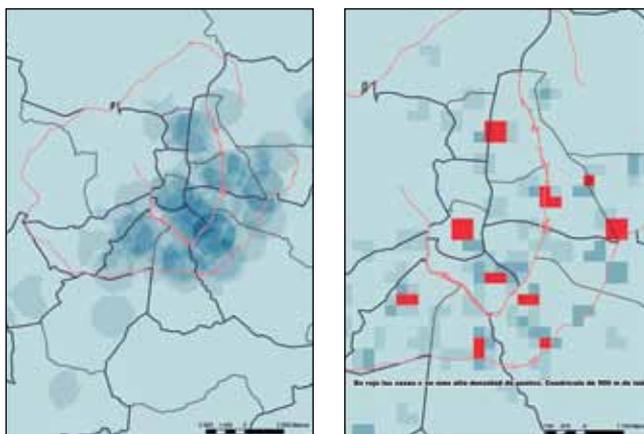
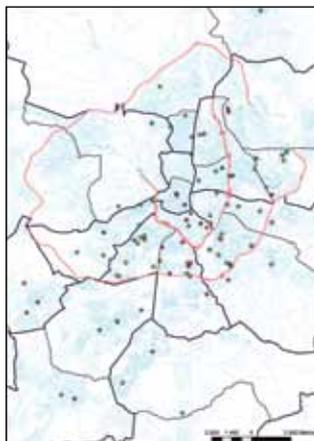
En otros casos^x se podría observar que los posibles puntos de exposición (domicilios, centros de trabajo, educación, ocio, etc.) se encontraran dispersos en un área muy extensa. En la Figura 54 se reproduce, con datos ficticios, un brote de estas características. De poco podría servir la búsqueda del centro de gravedad y el área de dispersión, así como la dirección dominante en la distribución de los puntos de exposición, ni tampoco la generación de áreas de influencia en torno a los casos individuales, pues nos llevaría a unos resultados inabarcables en términos de localización de instalaciones de riesgo y por lo tanto sería completamente inoperante.

Se puede optar en cambio por diseñar una estrategia de búsqueda fundada en la densidad de puntos.

Para ello se superpone a la nube de puntos una rejilla, retícula o cuadrícula, es decir que se genera una capa ráster formada por pequeñas celdas o píxeles. En este caso se utiliza un tamaño de píxel de 500 metros de lado. La distancia no es aleatoria porque es la medida que se utiliza de forma rutinaria en la vigilancia de las instalaciones de riesgo asociadas a la legionelosis. Es decir, se parte de la estimación de que una fuente de exposición ubicada a mayor distancia es una fuente de transmisión de la enfermedad mucho menos probable.

x. Fuente: elaboración propia a partir de datos ficticios. Los datos reales, que no se publican, fueron proporcionados por los Servicios de Epidemiología y de Sanidad Ambiental. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. 2006 (inédito).

Figura 54. Análisis de densidad de puntos de exposición en un área muy extensa



Fuente: Elaboración propia. Datos simulados

En cada uno de los píxeles de 500 metros de lado se calcula la densidad de puntos (número de puntos por unidad de superficie) teniendo en cuenta la disposición de la nube total de puntos y se seleccionan aquellos que presentan una densidad significativamente alejada de la media. En estas zonas (en rojo en el mapa) se priorizan las labores de inspección para localizar la fuente.

Vigilancia de casos esporádicos

Además de las actuaciones apoyadas en los SIG en el momento de producirse un brote, las administraciones de salud pública han de estar preparadas “en tiempos de paz”. En esta situación están especialmente indicados los sistemas de información geográfica distribuida. Ya se ha visto antes qué son y cómo se estructuran los SIG distribuidos. Son muchos los modelos posibles que se pueden implantar en los organismos cuya función es el análisis e intervención ante problemas de salud ambiental. Para

aproximarnos a la organización, tipos y funcionalidades posibles de los SIG distribuidos vamos a centrarnos en un caso concreto desarrollado en la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid⁶⁷.

Se puso en marcha una estructura que respondía globalmente al diagrama de flujos de la Figura 9 en la que se representan los mecanismos de conversión de la información obtenida, a través de diferentes fuentes, en información espacial disponible para su uso. La unidad SIG integrada por profesionales especializados en la materia aunque con formación y experiencia en salud pública, disponía de instrumentos necesarios para incorporar información convencional de interés para la salud pública, transformarla en información geográfica y realizar las operaciones necesarias de representación y análisis geográfico.

Partiendo de la experiencia acumulada en la prevención de la legionelosis, en la vigilancia de casos esporádicos y en el control de brotes o alertas provocadas por la aparente agregación espaciotemporal de casos⁶⁸, se vio necesario instaurar un sistema de información geográfica que facilitara la vigilancia de los casos y los factores de riesgo ambiental asociados.

Por un lado se cartografiaban las instalaciones de riesgo potencialmente asociables a la aparición de brotes comunitarios de legionelosis, es decir, las torres de refrigeración y los condensadores evaporativos actualizados semanalmente. El uso fundamental previsto de este visor cartográfico es el de apoyar las labores de inspección y control del censo de instalaciones de riesgo en las demarcaciones sanitarias por parte de los técnicos de salud pública. Desde la pantalla del propio ordenador el técnico de salud pública puede examinar el estado del censo, las inspecciones realizadas y pendientes, planificar las rutas de inspección más idóneas, etc. De cada instalación se pueden consultar los datos más relevantes, como el titular, dirección, número de censo, fecha de última inspección y toda aquella información de que se disponga y sea relevante, como pueden ser los datos microbiológicos procedentes de los análisis más recientes realizados.

Por otro lado, se representan los casos notificados a través del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la Comunidad de Madrid. Se incluyen todos los casos de legionelosis notificados en los dos últimos años naturales, siguiendo las recomendaciones de la guía europea para el control y prevención de la legionelosis⁶⁹, en residentes y no residentes en la Comunidad de Madrid que hayan estado expuestos en este territorio. Los casos esporádicos se representan en el lugar de residencia. Cada caso se representa con tres atributos: la pertenencia o no al grupo de edad de mayores de 65 años, el año en el que se produce la enfermedad y, mediante etiqueta visible solo a gran escala, la semana de inicio de síntomas. En aquellos registros en los que no consta la semana epidemiológica de inicio de síntomas se utiliza el valor de la semana de ingreso hospitalario, y si esta fecha tampoco consta se utiliza la semana de notificación. Para cada caso se puede consultar la información alfanumérica relativa al mismo, si bien se ocultan los datos de carácter personal. En este mapa se incluyen también capas de información con las tasas de incidencia acumulada por 100.000 habitantes por zona

básica de salud para cada año de calendario completo. Para el cálculo de estas tasas en el numerador se incluyen todos los casos del año correspondiente que cumplen los criterios mencionados, y en el denominador se toma la población del padrón continuo actualizado a 1 de enero de ese año. Las tasas se refieren a años de calendario completos. La legionelosis es una enfermedad poco frecuente en nuestro medio lo que hace que obtengamos tasas muy inestables cuya interpretación debe hacerse con cautela y sin olvidar la influencia del denominador. Se trata de una información adicional de referencia que puede servir para detectar anomalías en la distribución espacial de los casos y, sobre todo, agregaciones de casos en un mismo punto (brotes) cuya visualización, dependiendo de la escala, se puede escapar al observador. Para cada zona básica de salud se puede consultar la información correspondiente al año seleccionado, que incluye el número de casos, la población y el valor de la tasa. Los datos relativos a los casos se actualizan trimestralmente según el acuerdo a que llegó la comisión del programa de prevención y control de la legionelosis de la Comunidad de Madrid.

La representación conjunta de casos e instalaciones de riesgo en un mismo mapa hace posible disponer de una información de los dispositivos que se encuentran ubicados en las cercanías del lugar de residencia del caso. En el supuesto de detectar una agregación espacial o espacio-temporal de casos, el sistema permite que el usuario (el técnico de salud pública) seleccione, mediante la generación de un área de influencia del radio que se determine, las instalaciones prioritarias para iniciar las actuaciones ambientales que sean necesarias (visitas de inspección, toma de muestras, medidas cautelares, clausura de instalaciones, etc.). Asimismo, permitiría establecer un control sanitario ambiental más exhaustivo ante la aparición de casos esporádicos mediante los protocolos establecidos para ello o detectar agregaciones de casos en zonas limítrofes de áreas sanitarias diferentes.

Los profesionales responsables encargados de afrontar una alerta pueden cruzar la información con otras variables que pudieran estar relacionadas espacialmente en el origen de la alerta, en su evolución o que sean relevantes en el establecimiento de las actuaciones pertinentes. Pueden asimismo analizar retrospectivamente otras alertas históricas de la misma naturaleza almacenadas en los archivos cartográficos accesibles en línea. Por ejemplo, se pueden cargar en el visor las instalaciones de riesgo que reúnan unas características determinadas, situadas a una distancia especificada de los casos detectados, distancia que se puede modificar en función de la evolución del brote; se pueden añadir las capas temáticas de población por grupos de edad y las instalaciones de uso colectivo, a partir de todo lo cual se puedan determinar las zonas más sensibles en las que incrementar la vigilancia activa tanto ambiental como epidemiológica.

Cualquier profesional que haya tenido que enfrentarse a la situación creada por una alerta conoce la gran cantidad de incertidumbres que se generan y la ansiedad que produce no disponer de herramientas que permitan poder encontrar respuestas ágiles.

Es por esta razón por la que el uso descentralizado, por parte de cada profesional, de una información generada de forma centralizada, es decir sin cargas añadidas para ese mismo profesional, ofrece tantas ventajas para el trabajo en salud ambiental.

4.1.3. Evaluación de impactos ambientales

La salud y la evaluación de los impactos ambientales

La evaluación de impacto ambiental (EIA) y la evaluación ambiental estratégica (EAE) son figuras jurídicas del marco normativo de la Unión Europea desde los años ochenta del siglo pasado que están diseñadas para prevenir posibles efectos adversos en el medio ambiente de proyectos, planes y programas. Lo que se pretende es incorporar los costes ambientales, antes invisibles, a la toma de decisiones. Ni que decir tiene que al hablar de costes ambientales, tenemos que pensar en uno de los componentes clave del medio ambiente: la salud de la población⁷⁰. Cada vez con mayor frecuencia se solicitan informes a la autoridad sanitaria para que se definan los impactos previsibles en términos de salud. Dada su complejidad técnica (y jurídica), el procedimiento de evaluación necesita el apoyo de herramientas cada vez más precisas que permitan evaluar, cuantificar y caracterizar los impactos de forma que los informes y resoluciones sean consistentes. Una de estas herramientas son los SIG que permiten conocer la relación espacio-temporal previsible entre el proyecto, plan o programa y la población usuaria del territorio.

El vehículo idóneo para manejar los SIG aplicados a la evaluación ambiental es una herramienta de análisis geográfico *ad hoc*, accesible en red, para su uso en la elaboración de informes sobre impactos ambientales en salud, es decir, un visor cartográfico o SIG distribuido, tal como se ha definido más arriba.

La información espacial que se incorpora al visor construido para este fin⁷¹ se convertirá en información clave para definir los potenciales impactos en salud a considerar en los informes sanitarios:

1. Población con riesgo por proximidad, diferenciando la población residente, la población usuaria especialmente vulnerable: escolar, personas mayores, asignada a centros vulnerables, la población usuaria general: laboral, medios de transporte, centros comerciales, la población con riesgo intrínseco: a partir de diferentes registros de morbilidad.
2. Elementos preexistentes que pueden contribuir a la generación de impactos acumulativos y sinérgicos.

De esta forma se dispone de una herramienta actualizada dinámicamente que permite, mediante la visualización en el mapa y la consiguiente extracción de información en formato alfanumérico a partir de definición de distancias y de superposición de capas, responder rápidamente a la demanda de informes sanitarios sobre impactos ambientales en salud.

Otro ejemplo del uso de los SIG, combinado con la metodología de las matrices de impacto, está representado en el reciente trabajo de Ghasemian M et al⁷² en el que se evalúan los impactos previsibles de un plan urbanístico de desarrollo industrial en Irán, examinando las acciones del plan, fundamentalmente la emisión de contaminantes

a la atmósfera que supondrán un potencial impacto negativo en la población residente en un área de 2.500 metros de radio.

Se describen a continuación, paso a paso, las estrategias de análisis con un SIG en la evaluación de impactos ambientales en salud, en este caso utilizando la metodología desarrollada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (ATSDR por sus siglas en inglés).

Evaluación de la salud pública

La evaluación de la salud pública⁷³ (PHA por sus siglas en inglés), tal como la define la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés) es el “proceso por el cual se evalúan los datos y la información disponible de las sustancias peligrosas vertidas al ambiente, con el fin de valorar su potencial impacto en salud pública, pasado, actual o futuro, proponer recomendaciones sanitarias, identificar estudios y acciones necesarias para evaluar, mitigar o prevenir efectos en la salud humana”. El proceso completo de evaluación se verifica en seis fases:

1. Evaluar la información demográfica, física, geográfica, histórica y de las actividades realizadas en el sitio o lugar.
2. Identificar la preocupación en salud de las poblaciones afectadas (comunidades).
3. Seleccionar los contaminantes de interés asociados al lugar teniendo en cuenta los valores de referencia.
4. Identificar y evaluar los itinerarios de exposición (fuentes, mecanismos de transporte, vías de exposición humana y población expuesta).
5. Determinar las implicaciones en salud derivada de esa exposición teniendo en cuenta los valores de referencia.
6. Determinar las conclusiones y recomendaciones.

En la fase 4 se trata de responder a las preguntas: ¿Hay alguien expuesto a la contaminación ambiental producida en un lugar concreto? ¿Bajo qué condiciones ocurre esta exposición?

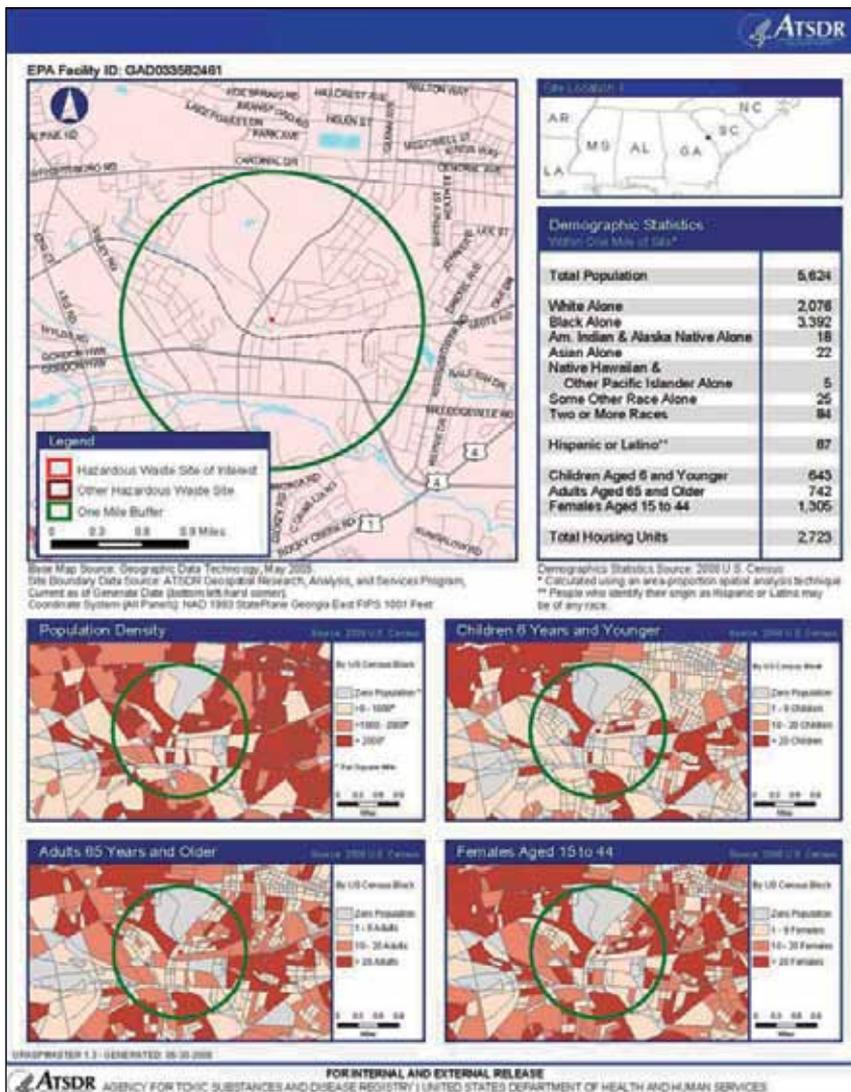
Un itinerario o ruta de exposición representa la conexión que vincula, en el espacio y en el tiempo, los contaminantes ambientales con los grupos de población que pueden entrar en contacto con o estar expuestos a ellos. Para analizar el itinerario completo de exposición se evalúan los cinco elementos siguientes:

- La fuente (o emisión) contaminante.
- El destino intermedio o receptáculo ambiental (aire, agua, suelo...) y los mecanismos de transporte que intervienen, así como las transformaciones que el contaminante sufre en este proceso.

- El lugar de exposición donde la población podría entrar en contacto con un medio contaminado.
- La vía de exposición o vía de entrada del contaminante en el organismo (inhalación, ingestión, contacto dérmico...)
- Las poblaciones potencialmente expuestas (tamaño y características).

Este último punto es sin duda clave en todo el proceso puesto que en definitiva es el que determina la existencia de impactos o riesgos para la salud.

Figura 55. Ejemplo de uso de SIG para la evaluación de salud pública.



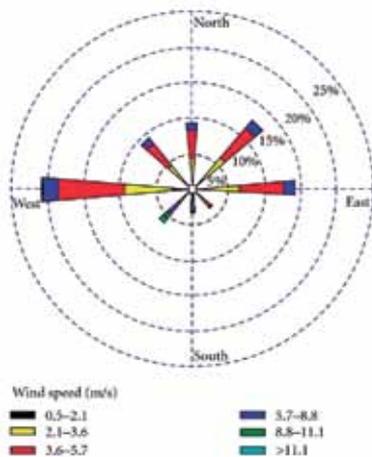
Fuente: ATSDR. 2006

El formato de análisis utilizado en las evaluaciones realizadas por la ATSDR consiste en establecer un área e influencia de 1 milla (1.609,344 metros) en torno a la actividad contaminante (ver Figura 55). Se identifican en el interior del área de influencia los grupos de población por sección censal (*census block*) con datos del último censo disponible. El análisis espacial se realiza mediante superposición de capas (área de influencia y secciones censales). Como lógicamente hay secciones censales que se incluyen solo parcialmente en el área de influencia, se establece para ellas la proporción de su superficie que pertenece al área de influencia y esa misma proporción se aplica a la población. Por ejemplo si solo el 10% de una sección censal de 100 habitantes está a menos de una milla, se considera como población expuesta de esa sección censal solo a diez habitantes.

Se incluyen en el análisis el mapa de densidad de población general y los mapas de cifras absolutas de mayores de 64 años, de mujeres en edad fértil –de 15 a 44 años– y los niños menores de 7 años. Además de cuantificar estos tres grupos también se cuantifican los grupos de diferentes características raciales para detectar minorías o grupos vulnerables por condiciones de desigualdad.

Ya se ha comentado que el uso del círculo está sustentado, entre otras cosas, en el principio de precaución. En lo que se refiere a la dirección dominante en la difusión de contaminantes en el aire, se presenta a continuación un ejemplo de las direcciones que adoptan los vientos en una zona y periodo concretos. Se observa cómo en un periodo cualquiera, en cualquier lugar del globo terráqueo, aunque siempre hay una dirección o direcciones dominantes, también se producen periodos en los que las otras direcciones posibles son más frecuentes que la dominante.

Figura 56. Rosa de los vientos.



Fuente: Ghasemian et al. 2012⁷²

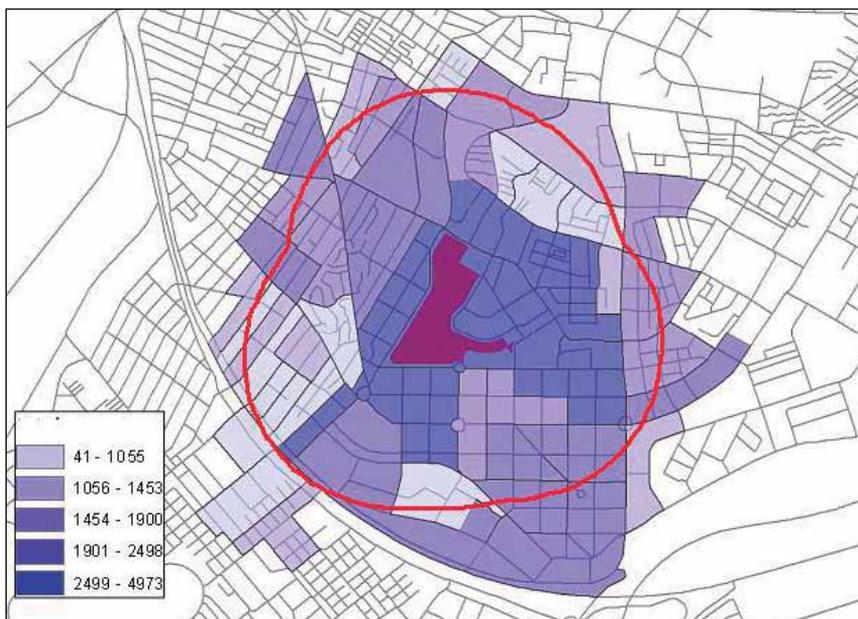
Así pues, parece que el círculo, o para ser más exactos, la distancia constante en torno al objeto geográfico a partir del cual estamos generando el área de influencia o *buffer*, no es solo una cómoda simplificación sino que es una adecuada solución para los que están obligados a dar respuestas (a quienes, por cierto, va dirigido este trabajo).

Una aplicación de esta metodología de evaluación de salud pública se ha desarrollado para analizar los riesgos en las captaciones de agua de abastecimiento del polígono industrial de Casares en Málaga (España)⁷⁴.

Como complemento y, creemos, enriquecimiento de la estrategia de análisis de la ATSDR proponemos algunos cambios⁷⁵.

El primero consiste en aprovechar las posibilidades que ofrece la superposición de capas para afinar el área de influencia. La sección censal es la unidad territorial de menor tamaño en la que se registran para el público general los datos de población. Se respeta de este modo la confidencialidad de los datos registrados en censos y padrones de población. Si no se pueden conseguir los datos por vivienda, sí que podemos hacer una estimación de la población residente en cada domicilio postal, clasificada por edad y sexo. Simplemente se superpone la capa de portales a la de secciones censales obteniendo el número de puntos correspondientes a las direcciones postales (portales) para cada sección y, con la superposición inversa, el promedio de población, por grupos, para cada portal.

Figura 57. Superposición de capas. Selección de secciones censales en área de influencia



Fuente: Elaboración propia a partir de datos simulados

Figura 58. Superposición de capas. Selección de portales en área de influencia



Fuente: Elaboración propia a partir de datos simulados

El uso de portales aporta más precisión porque permite la selección de la población residente en los portales, de diferentes edades y género, en la zona de exposición en distancias diferentes a la zona de emisión gracias a la posibilidad de generar áreas de influencia concéntricas con radios diferentes.

Los datos de población estimados para el conjunto de los portales en el área definida se convierten en una información demográfica más precisa, con la que se puede trabajar, por ejemplo, construyendo la pirámide de población o cualquier otro indicador demográfico.

Además de la población residente hay que considerar la población que utiliza el territorio con otros fines: trabajo, servicios asistenciales, educativos, de ocio, etc. Las fuentes para obtener estos datos son menos precisas que la información demográfica, pero se pueden obtener a través de censos de establecimientos de uso específico como colegios, residencias, centros sanitarios, etc., o bien, en último caso, mediante trabajo de campo.

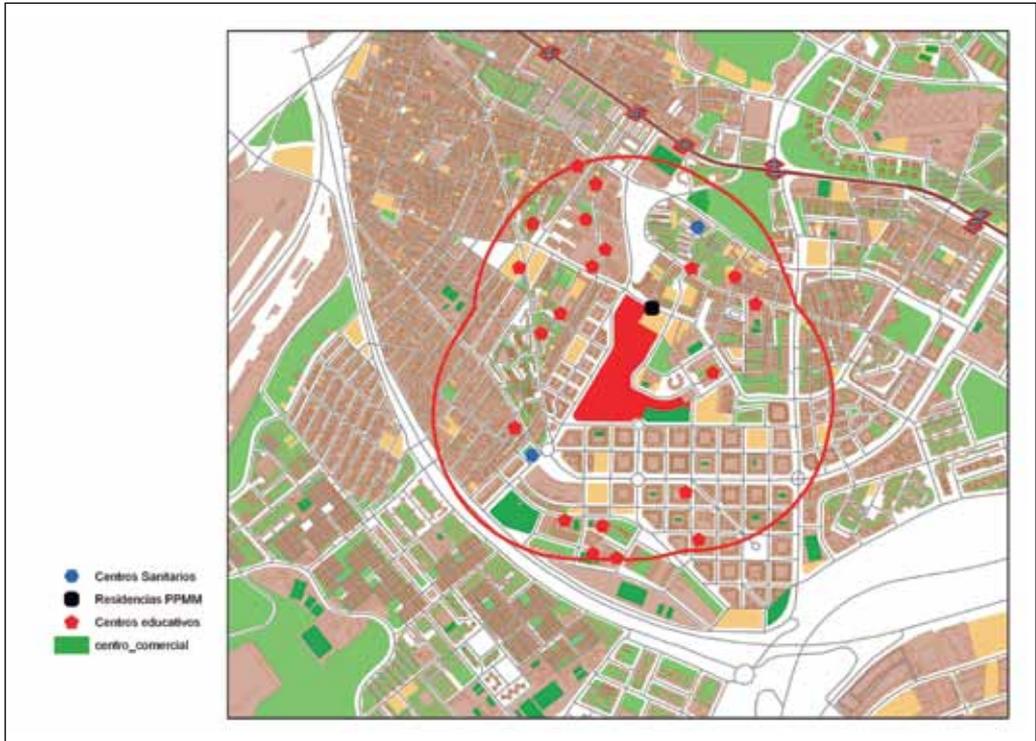
De esta forma, por superposición de capas, se pueden adjudicar a cada portal los atributos de población residente permanente o usuaria temporal (laboral, escolar,...) y un valor horario en función del uso del suelo.

A partir de esta información, la exposición diaria se calcula mediante un factor proporcional a la permanencia de la población dentro del área (24 horas los residentes, 8 horas la población laboral, 6 horas la población escolar, etc.)

El resultado es que se consigue estimar la población potencial expuesta a un riesgo ambiental, calculando:

- La intensidad de la exposición, en función de la distancia,
- La duración de la exposición, en función del ritmo temporal de actividad y
- La susceptibilidad de la población, en función de pertenencia a colectivo de riesgo sociodemográfico.

Figura 59. Superposición de capas. Selección de instalaciones vulnerables en área de influencia



Fuente: Elaboración propia a partir de datos simulados

4.1.4. Adaptación al cambio climático

Cambio climático y salud

Como se señala en el documento Cambio climático y salud en España. Presente y futuro⁷⁶, las primeras pruebas de injerencia humana en el clima se conocieron públicamente en el año 1979, en el marco de la primera Conferencia Mundial sobre el Clima. A partir de esa fecha, la preocupación pública sobre los problemas ambientales cobró una gran fuerza y los gobiernos comenzaron a tomarlos en consideración en su agenda política. Una de las consecuencias de esta preocupación fue la creación entre la Organización Mundial Meteorológica (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés) en el año 1988, como órgano científico de apoyo a las Naciones Unidas.

Las amenazas del cambio climático a la salud han sido cuantificadas por el IPCC en su Cuarto Informe. “La salud de millones de personas puede estar en riesgo por incrementos en la incidencia de la malnutrición, la meteorología extrema, las enfermedades diarreicas, los problemas de corazón y respiratorios provocados por niveles de

ozono troposférico inducidos por las condiciones climáticas, así como por la extensión de algunas enfermedades infecciosas. Por el contrario, pueden producirse algunos beneficios, por ejemplo en las personas que sufren los efectos de climas muy fríos”.

Dos son las acciones básicas que propone el IPCC para enfrentarnos al cambio climático: la mitigación o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación de los sistemas para protegerse de sus efectos. Es evidente que la mitigación tiene un carácter mundial, ya que las emisiones van a la atmósfera común, mientras que la adaptación puede realizarse en el ámbito regional y local, incluso sociedades con una alta capacidad adaptativa son, pese a ello, vulnerables al cambio climático, a la variabilidad y a los extremos climáticos, como ejemplariza el IPCC con la ola de calor del verano de 2003 en varias ciudades europeas. Tampoco dentro de cada sociedad, sus ciudadanos van a tener la misma afectación. Por todo ello, en el sector salud es esencial disponer de amplias medidas de adaptación a los efectos concretos del cambio climático que puedan proteger la salud de sus ciudadanos.

Cambio climático y SIG

Uno de los mayores riesgos estriba en las temperaturas extremas y sus efectos en grupos sensibles. En diversos contextos urbanos del Reino Unido⁷⁷, se ha aplicado la evaluación espacial del riesgo para detectar áreas de mayor riesgo y elaborar las estrategias necesarias de adaptación al cambio climático.

Tomlinson et al⁷⁸ señalan que el impacto de las olas de calor es percibido con más fuerza en las ciudades, donde se concentra la población y donde, paralelamente, el clima es modificado por la misma población que genera con su actividad los efectos de la isla urbana de calor haciendo que las áreas urbanas puedan ser significativamente más cálidas que las zonas rurales circundantes. El propósito de su estudio es “integrar los datos de la isla de calor urbana procedentes de sensores remotos con los datos de caracterización social a través de la metodología de evaluación espacial de riesgo con el fin de subrayar las áreas de riesgo potencial para la salud por calor y construir las bases para una evaluación de riesgo del cambio climático”.

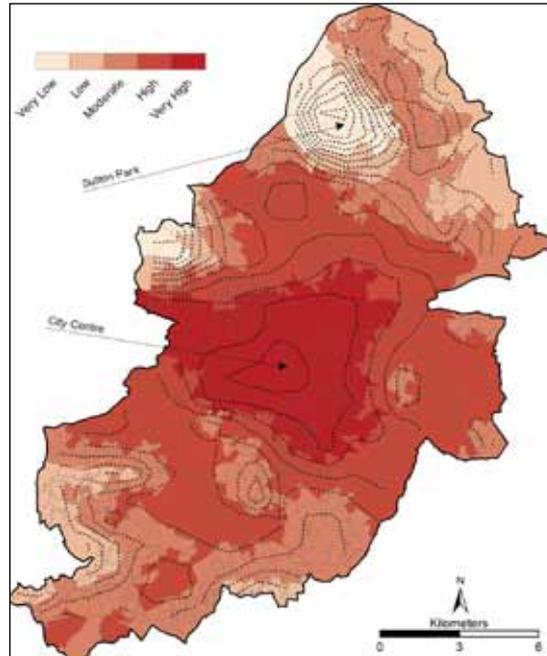
Los autores consideran Birmingham, su área de estudio, como una ciudad representativa de muchas otras ciudades de interior en las latitudes medias. El estudio utiliza como unidad de análisis el *Lower Layer Super Output Areas* (LSOA), unidad geográfica para áreas estadísticas pequeñas.

La evaluación espacial de riesgo consiste básicamente en superponer cuatro tipos de capas:

- Capas de peligro: en este caso la Isla urbana de calor. Se utiliza el Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) de los satélites de la NASA con información de temperatura de la superficie de la tierra con una resolución de 1 km. Aunque la temperatura de la superficie y la del aire no son directamente comparables, la tendencia espacial es la misma y es la que interesa en este estudio por lo que, señalan los autores, los datos resultan de utilidad. Se utilizan

los datos de la noche del 18 de julio de 2006 usado como ejemplo de ola de calor. La media de temperatura (°C) de las LSOA se utiliza para estandarizar los datos en una escala entre 0 y 1.

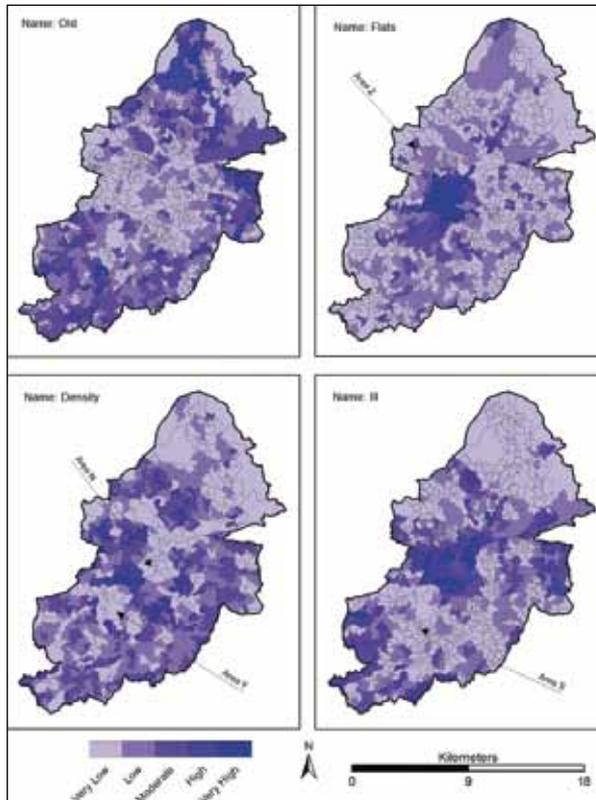
Figura 60. Isla de calor urbana. Birmingham.



Fuente: Tomlinson et al. 2011⁷⁸

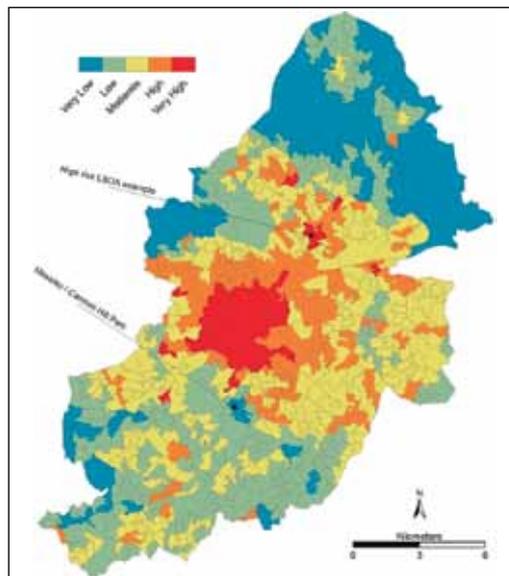
- Capas de exposición: se utilizan los datos del Mosaico Experian 2009, que provee de datos demográficos de estilos de vida y comportamiento de todos los individuos y hogares en UK, clasificando cada hogar en 15 grupos y 67 tipos. Se utilizan los datos de los hogares (X e Y, Tipo y Grupo del mosaico) y se agregan por LSOA.
- Capas de vulnerabilidad: Cuatro capas (LSOA) que se extraen de la capa de exposición, es decir de los tipos definidos en el mosaico: mayores, enfermos, población residente en zonas de alta densidad y población residente en pisos altos (Número de hogares/edificio > 10). Las cuatro capas se estandarizan con respecto al valor máximo (Valor en LSOA/ Máximo LSOA en todo Birmingham) adoptando valores entre 0 y 1.
- Capa de riesgo. Para crear la capa final de riesgo, las 4 capas de vulnerabilidad se funden en una única capa con la misma ponderación (25%) que se combina después con la capa de peligro también con la misma ponderación (50%).

Figura 61. Capas de exposición y vulnerabilidad.



Fuente: Tomlinson. 2011⁷⁸

Figura 62. Capa de riesgo Birmingham.



Fuente: Tomlinson. 2011⁷⁸

El análisis identifica una concentración de áreas de muy alto riesgo en el centro de la ciudad y un número de bolsas de alto riesgo dispersas a lo largo de la conurbación. Un análisis más profundo a escala de viviendas (hogares) produce una imagen complicada con un considerable rango de vulnerabilidades en un mismo barrio.

Teniendo en cuenta las limitaciones (se usa una ponderación uniforme para todos los grupos de riesgo y alguno de estos, además, están directamente relacionados con la generación de la isla de calor: densidad, pisos altos; se utilizan datos de un solo día; no se contrastan los resultados con datos de efectos de morbilidad o mortalidad), los resultados ilustran que una concentración de población en muy alto riesgo vive en la isla de calor urbana y ello debería ser tenido en cuenta por los planificadores urbanos y por los gestores del medio ambiente urbano en el centro de la ciudad.

Además de los extremos térmicos, otros riesgos están asociados al cambio climático, como las transformaciones espaciales y temporales que se pueden producir en los hábitats de los agentes vectoriales.

En el capítulo siguiente hay una contribución específica para este libro sobre el uso de las herramientas de SIG y la teledetección en el análisis de clima y salud para un ejemplo de malaria en Brasil. (Ver apartado 4.2.6). También el control vectorial es el objetivo de otra contribución original por parte de expertos del Ayuntamiento de Madrid. (Ver apartado 4.2.7)

4.1.5. Desigualdades territoriales en salud

Salud y desigualdades

En el territorio se produce la síntesis de prácticamente todas las variables socioeconómicas y por supuesto ambientales que determinan las desigualdades. Es algo más que difícil encontrarse, por ejemplo, una zona residencial de clases acomodadas junto a una depuradora de aguas residuales o una central térmica. Por ello, poner en un mismo sintagma los términos desigualdad y territorio es casi una redundancia. El territorio está dibujado con las mismas tramas que dibujan las desigualdades.

Sin embargo, son muchos los estudios, y cada vez más, que se preocupan por determinar cuáles son las consecuencias en salud de estas desigualdades espaciales por lo que incluir un apartado con este enunciado nos parece pertinente. En las últimas dos décadas el número de estudios que tratan el territorio como un determinante de salud se ha incrementado probablemente debido, entre otras razones, al auge de las tecnologías de la información geográfica. Incluimos aquí ejemplos de un estudio multicéntrico sobre desigualdades y mortalidad y algunos ejemplos del estudio de zonas desfavorecidas en función de los posibles efectos de la exposición al plomo ambiental.

Plomo ambiental en sitios contaminados

El plomo ambiental y sus efectos en la salud

Antes de que las actividades humanas contaminasen el medio ambiente, el contenido metálico de los suelos era el resultado del desgaste geológico, lo que quiere decir que la cantidad de metales en los suelos dependía de la naturaleza de los minerales que constituían las rocas a partir de las cuales se había formado el suelo. Así, las rocas graníticas contienen cincuenta veces más plomo que las rocas basálticas. Además de la concentración natural, puede haber un enriquecimiento debido a la deposición de las emisiones de fuentes antropogénicas: tráfico, industria, utilización de lodos de depuradoras, vertidos de aguas residuales, etc. Por ello, la concentración de plomo es más alta en las capas superficiales.

El suelo ejerce una acción amortiguadora frente a la contaminación. A ello contribuyen tanto las propiedades físico-químicas de los contaminantes como las propias del suelo, que favorecen las reacciones de precipitación-disolución, ácido-base, oxidación-reducción, adsorción-desorción, complejación y procesos metabólicos.

Algunos autores han intentado establecer una relación dosis-respuesta entre la concentración de plomo en el suelo y los niveles de plomo en sangre de las personas. Basándose en esa relación se estableció la concentración de 600 mg/Kg de plomo en suelo como nivel de seguridad, definido este como aquella concentración que no contribuiría a incrementar en más de 5 µg/dL la concentración total de plomo en sangre de un niño.

La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) estimó en el año 1999 entre 300.000 y 1.500.000 el número de zonas o áreas contaminadas en Europa occidental. En España se articuló el Plan nacional de recuperación de suelos contaminados (1995-2005), en el que se inventariaron 4.532 emplazamientos como potencialmente contaminados. A partir de ahí, en cumplimiento del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados, todas las comunidades autónomas de España vienen obligadas a establecer un inventario de suelos contaminados y así establecer criterios y pautas para su uso o para su descontaminación.

Las concentraciones a las que puede encontrarse el plomo en el suelo son muy variadas. En el medio rural en general no se superan los 20 mg/Kg. Sin embargo en zonas urbanas se pueden alcanzar los 3.000 mg/Kg pudiendo llegar a los 10.000 mg/Kg en zonas industriales. Los estudios llevados a cabo en la ciudad de Cartagena (España), una ciudad que estuvo tremendamente contaminada, detectaron niveles medios de 40.170 mg/Kg en los suelos del municipio y de 149.923 mg/Kg en la zona de vertidos industriales.

Por otro lado, a la existencia del fenómeno “pica” de los niños (morder y masticar

productos no alimenticios, como tierra, pintura, etc.), se puede añadir la resuspensión de las partículas del suelo que contienen niveles relevantes de plomo; todo ello hace que el suelo constituya una fuente de exposición que no resulta nada desdeñable.

El grupo de población más susceptible a los efectos tóxicos del plomo lo constituyen los niños debido a que absorben más el plomo, tanto a nivel digestivo como a nivel respiratorio y también retienen una mayor cantidad del plomo absorbido. Por otro lado, la infancia es la etapa del desarrollo más vulnerable ante los efectos del plomo, especialmente respecto al sistema nervioso. Asimismo, las condiciones de insuficiencia nutricional, tan frecuente y extendida en las poblaciones infantiles de bajo nivel socioeconómico en los países en vías de desarrollo, son elementos favorecedores en tales grupos de una absorción digestiva aumentada del plomo, así como de una mayor retención de este por el organismo.

Desde los ya clásicos estudios de McMichael, Needelman, Landrigan y Bellinger se sabe que cualquier cantidad que sea absorbida por el organismo resulta nociva para la salud humana, con especial relevancia en los niños. Entre los efectos negativos, ampliamente recogidos en la literatura científica, se encuentran los producidos sobre el desarrollo de la línea roja hemática, riñones, sistema cardiovascular y aparato reproductor.

La capacidad del plomo de provocar efectos neurológicos es quizá una de las afectaciones que son consideradas como más graves ya que generarían retraso cognitivo e intelectual y alteraciones de la conducta, lo que a su vez provocaría niños hiperactivos y con carácter violento. Además estas afectaciones pueden empezar a generarse en el propio feto a través de la madre.

Plomo y SIG

Vivier et al⁷⁹ estudiaron las desigualdades en una amplia muestra obtenida por el Departamento de salud de Rhode Island (USA). El 17,3% de una muestra de 204.746 niños presentaban niveles de plomo en sangre superiores a 10 µg/dL, con un rango de entre 0 y 49% si se estratificaba la muestra por secciones censales. Clasificando las secciones censales por nivel de pobreza, el porcentaje de niños con niveles altos de plomo oscilaba entre el 8% y el 31% si se consideraba a los niños que vivían en secciones del quintil más bajo de pobreza o del más alto respectivamente. Evaluando la incidencia de la variable de antigüedad de la vivienda (viviendas anteriores a 1950) se obtuvieron los siguientes resultados: frente al 7% de niños con esos niveles en las secciones censales del quintil más bajo, en las secciones del quintil más alto la proporción resultó ser del 27%. La *Odds ratio* ajustada fue de 1,64 para el quintil más alto de nivel de pobreza y de 1,77 para el de viviendas anteriores a 1950.

Por su parte, un equipo formado por investigadores del Ministerio de Salud de la Nación Argentina, del Grupo INQA (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy) y de CENATOXA (de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires) se planteó evaluar la exposición al plomo de niños que habitan en localidades identificadas como sitios contaminados⁸⁰. En el siguiente apartado de este capítulo

los autores de este trabajo incluyen para este libro los resultados del estudio. (Ver apartado 4.2.2)

Otro ejemplo lo encontramos en Valencia, Venezuela, donde profesionales del Centro de Investigaciones Toxicológicas de la Universidad de Carabobo han estudiado la asociación entre concentraciones altas de plomo en sangre en niños y la presencia de actividades que emiten este metal en las proximidades de sus viviendas, colegios y otros espacios en los que desarrollan sus actividades los pequeños⁸¹. El estudio surgió a partir de la constatación de que los niños procedentes de un sector de la ciudad denominado Michelena presentaban niveles más altos de plomo en sangre lo que recomendó estudiar el tema de una forma más estrecha. El estudio se abordó en 2004 con una muestra de 60 niños de entre 4 y 9 años con más de un año de residencia en el lugar. Mediante cuestionario en los colegios se obtuvieron las variables demográficas, de residencia y el lugar donde los niños ocupan su horario extraescolar. Por otro lado, se identificaron y ubicaron 31 fuentes potenciales de emisión de plomo al ambiente estableciéndose un área de influencia de 130 metros en su entorno. No se consideraron las vías de tráfico rodado por ser uniforme (constante) en la zona de estudio.

Figura 63. Ubicación geográfica de las fuentes de emisión de plomo y áreas de influencia. Valencia. Venezuela



Fuente: Espinosa. 2006 ⁸¹

Los niveles más altos de plomo en sangre se detectaron en los niños que residían más cerca de los talleres de herrería y soldadura (emisión de humos con contenido de plomo), aunque al ser un solo taller y solo incluir tres niños en el *buffer* no se pueden extraer inferencias definitivas. Resultó más relevante el hallazgo de la mayor concentración de plomo en sangre en los niños cuyos hogares están próximos a los talleres mecánicos (entre 10,7 y 15,7 $\mu\text{g/dL}$). Una de las conclusiones del estudio es que es el hogar el mayor responsable de la exposición al plomo, más que el colegio u otros lugares.

El estudio revela que utilizar como medida de exposición la distancia específica entre vivienda y fuente de emisión resulta crítico para evaluar la exposición puesto que los niveles más altos de plomo en sangre no se detectaron en la zona donde más abundan las instalaciones potencialmente emisoras (el norte de la zona de estudio) sino donde más cerca las tienen los niños. Esta realidad puede quedar inapreciada si se utilizan delimitaciones administrativas para estimar la exposición: si el norte de la zona de estudio, por ejemplo, fuera una sección censal distinta de la sur y se analizaran los datos de forma agregada (niños en la sección A/industrias en la sección A vs niños en la sección B/industrias en la sección B) no se evidenciaría la asociación espacial descrita en este estudio.

Tabla 2. Distribución de la población estudiada según las fuentes de exposición, el sexo y los valores de plomo en sangre (Valencia, Venezuela)

Fuentes de exposición	Varones			Mujeres			Población total				
	n	% ⁽¹⁾	$\bar{X} \pm \text{DE}$ ⁽²⁾	n	% ⁽¹⁾	$\bar{X} \pm \text{DE}$ ⁽²⁾	n	% ⁽¹⁾	$\bar{X} \pm \text{DE}$ ⁽²⁾	IC95% ⁽³⁾	Límites
Paradas de autobús, talleres mecánicos y de latonería/pintura	1	2,9	6				1	1,6	6		
Paradas de autobús, estaciones de gasolina, talleres mecánicos				1	4	8	1	1,6	8		
Talleres mecánicos y de herrería/soldadura	1	2,9	8	1	4	11	2	3,4	9,5 \pm 2,1	6,6 - 12,4	8 - 11
Talleres mecánicos y de latonería/pintura				2	8	9,2 \pm 6,7	2	3,4	9,2 \pm 6,7	-18,4	4,5 - 14
Paradas de autobús y talleres mecánicos	1	2,9	6				1	1,6	6		
Taller de herrería/soldadura	3	8,6	15,3 \pm 4*	3	12	10,3 \pm 1,1**	6	10,0	12,8 \pm 3,8	10,5 - 15,1	9 - 19
Paradas de autobús	11	31,4	10,4 \pm 1,7	7	28	9,6 \pm 2,9	18	30,0	10,1 \pm 2,2	9,1 - 11,1	6 - 15
Talleres mecánicos	6	17,0	13,4 \pm 3,8	1	4	12	7	11,6	13,2 \pm 3,5	10,7 - 15,7	9 - 18
Estaciones de gasolina	1	2,9	11	1	4	11	2	3,4	11 \pm 0		11 - 11
Total de niños residentes en área cubierta por buffer	24	68,6	11,3 \pm 3,5	16	64	9,9 \pm 2,7	40	66,6	10,7 \pm 3,2	9,8 - 11,6	4,5 - 19
Total de niños residentes en área no cubierta por buffer	11	31,4	10,8 \pm 1,9	9	36	8,8 \pm 2,8	20	33,4	9,9 \pm 2,5	8,9 - 10,9	5,5 - 13,5
Total	35	100,0	11,1 \pm 3,1	25	100	9,5 \pm 2,7	60	100,0	10,5 \pm 3	9,7 - 11,2	4,5 - 19

(1) Porcentaje calculado en base en los totales de cada variable en estudio

(2) Media y desviación estándar de los valores de Pb-S

(3) Intervalo de confianza al 95% de la media de Pb-S

* Media de Pb-S significativamente superior ($p=0,032$) a la media de Pb-S encontrada en general en el resto de los varones expuestos a las otras ocho fuentes

** Media de Pb-S significativamente superior ($p=0,042$) a la encontrada en el número total de mujeres

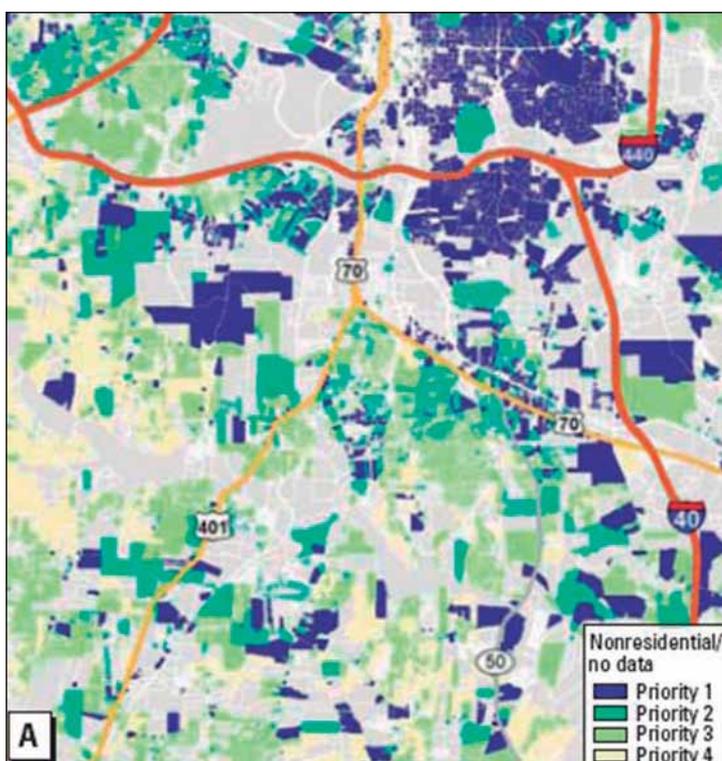
Fuente: Espinosa. 2004 ⁸¹

Otro enfoque es el que plantean profesionales de la Nicholas School of the Environment and Earth Sciences (Duke University, Durham, North Carolina, USA) que han desarrollado en los últimos años modelos SIG para orientar programas de prevención de exposición infantil a plomo. Es decir, proponen el uso de la cartografía para la prevención y no solo para el análisis.

En estos trabajos se aborda un análisis espacial de los datos de un cribado de plomo en sangre en seis condados de Carolina del Norte en una primera fase⁸² y dieciocho en la segunda³¹. Se utiliza como unidad de análisis la parcela catastral y se construye un modelo multivariante para predecir los niveles de riesgo relativo de exposición a plomo para todas las parcelas residenciales en cada condado. La variable dependiente es el nivel de plomo en sangre (BLL) y las variables independientes que se utilizan son el año de construcción de las viviendas, los ingresos de los hogares, las características raciales de la población (porcentaje de afroamericanos y de hispanos) y el porcentaje de hogares que reciben asistencia social. También se utilizan variables ficticias (*dummy*) para corregir la estacionalidad en función del momento de la toma de muestra.

El modelo da como resultado una cartografía que zonifica el territorio en función de la priorización del riesgo.

Figura 64. Plomo. Mapa de riesgo.



Fuente: Kim, 2008³¹

Los modelos de alta resolución espacial (o gran escala: parcelas, edificios,..) permiten diferenciar los hogares de más alto riesgo con una mayor eficiencia, dependiendo lógicamente de la disponibilidad de datos a ese nivel y de la calidad de los mismos, y también facilitan la creación y aplicación de programas de intervención. La superposición de otras capas, como la de recursos sociosanitarios, permite la identificación de las sedes más idóneas para actividades de sensibilización y promoción de la salud. También, por ejemplo, la superposición de la capa de riesgo de exposición infantil a plomo con la capa de domicilios de recién nacidos permite el diseño de campañas de visitas domiciliarias para promover prácticas de limpieza del plomo ambiental, conducir la toma de muestras, recordar a los padres el momento conveniente para realizar el cribado de plomo, aportar información crítica a los padres sobre la exposición suplementaria que conllevan los comportamientos y juegos infantiles (de mano a boca, “pica”), etc.

Los autores de estos trabajos caminan ahora hacia un portal de mapas en la Web que permita a los profesionales sanitarios y a cualquier miembro de la comunidad evaluar el riesgo asociado a un lugar determinado, así como integrar otra información espacial de temas de salud.

Desigualdades en salud en once ciudades españolas: proyecto multicéntrico MEDEA

El proyecto MEDEA es un proyecto coordinado de 14 grupos de España financiado por el Instituto de Salud Carlos III que tiene por objetivo analizar las desigualdades socioeconómicas y medioambientales en áreas pequeñas de ciudades de España y de Europa⁸³.

Como señalan los profesionales de salud pública involucrados en este proyecto, la importancia de las desigualdades en salud en áreas pequeñas radica en, al menos, tres razones:

- Hay factores contextuales a la misma escala de área que explican los efectos en salud, tales como el medio ambiente físico, la expansión urbana, el mercado laboral, las instalaciones de ocio, educativas o de asistencia social y sanitaria, etc.
- La identificación de las áreas geográficas con peores condiciones socioeconómicas y de salud facilita la implementación de intervenciones y políticas para atajar las desigualdades en salud.
- Monitorizar las desigualdades en salud puede ser más factible y rutinizable usando datos ecológicos.

El objetivo del estudio⁸⁴ publicado con los resultados de todos los grupos de trabajo implicados es identificar desigualdades en mortalidad total y por causas específicas, a la vez que analizar las relaciones entre estas desigualdades y los niveles de privación⁸⁵. Se utiliza como unidad espacial de análisis las secciones censales de las once ciudades españolas más grandes, según los datos del censo de población y vi-

viendas de 2001, que reúnen un 20,5% de la población española de ese año. Las ciudades son Alicante, Barcelona, Bilbao, Castellón, Córdoba, Madrid, Málaga, Sevilla, Valencia, Vigo y Zaragoza.

La población estudiada es la residente en esas ciudades durante el periodo 1996 a 2003. Los datos de mortalidad se obtuvieron de los registros regionales de mortalidad.

El número esperado de muertes en cada sección censal fue calculado tomando como referencia las tasas de mortalidad por sexo, edad (tasas específicas de mortalidad por grupos quinquenales) y causa de defunción para España en el año 2001 proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Para elaborar un índice de privación la fuente de información fue el censo de población y vivienda de 2001, que también fue la fuente para obtener el número de habitantes de las secciones censales estratificados por edad y sexo en grupos quinquenales.

El número de muertes por grupos quinquenales, sexo, sección censal de residencia y la causa principal de muerte fueron datos extraídos de los registros de mortalidad. Se codificó la causa de muerte con la 9ª revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-9) para las muertes de 1996 a 1998 y la CIE-10 para las ocurridas de 1999 a 2003.

La sección censal se obtuvo a partir de la dirección postal del fallecido proporcionada por el certificado de defunción o por el padrón municipal. Debido a los problemas técnicos para geocodificar el lugar de residencia, para algunas muertes no se pudo obtener la referencia geográfica, con una proporción entre 0,13 y 14,28% en las diferentes ciudades. Excepto para una ciudad los porcentajes estuvieron casi siempre por debajo del 7%.

El estudio analiza la mortalidad por todas las causas y la mortalidad por las 10 principales causas de muerte en España (cáncer de pulmón, mama y próstata, diabetes, enfermedades mentales, Alzheimer, enfermedades isquémicas, cerebrovasculares, respiratorias y cirrosis) que supusieron el 43,9% y el 68,6% de todas las muertes entre hombres y mujeres respectivamente en 2001.

La privación material hace referencia a la falta de acceso a condiciones relacionadas con la salud tales como un trabajo saludable, vivienda, instalaciones en el hogar y un medio ambiente saludable. Se han propuesto muchos indicadores. En este estudio se calculó un índice de privación para cada sección censal, mediante un método de análisis de componentes principales basado en los indicadores socioeconómicos disponibles para cada sección censal¹⁸⁶. Se incluyeron 5 indicadores simples:

- a) Situación de desempleo.
- b) Bajo nivel educativo en población general.
- c) Bajo nivel educativo en jóvenes.
- d) Desempeño de trabajo manual.
- e) Temporalidad en el empleo.

Los resultados muestran que la asociación entre las desigualdades y la mortalidad total osciló entre riesgos relativos (RR) de 1,84 y 0,97 para hombres y entre 1,33 y 0,80 para mujeres.

Entre los hombres, para la mortalidad total, la asociación fue positiva y con significación estadística en 10 ciudades. En cuatro causas de muerte (cáncer de pulmón, enfermedades isquémicas, respiratorias y cirrosis) los riesgos relativos fueron mayores de 1 (y con un intervalo de confianza - IC- al 95% que no incluye el valor 1) en la mayoría de las ciudades. Los riesgos relativos más altos se dieron en respiratorias y cirrosis. En el caso de la mortalidad por cáncer de próstata y Alzheimer no se encontró relación con la privación económica en la mayoría de las ciudades. Para el resto de las causas se encontró asociación positiva solo para unas pocas ciudades.

Para las mujeres, la mortalidad total presentó un riesgo relativo alto (con un IC al 95% significativo) en siete ciudades. Sin embargo, el RR de las mujeres fue inferior que en los hombres. El cáncer de pulmón presentó una relación inversa con la privación socioeconómica en seis ciudades. Dos causas de muerte (diabetes y cirrosis) presentaron un alto RR en la mayoría de las ciudades. El cáncer de mama en la mayoría de las ciudades no estuvo asociado con el índice de privación salvo en dos ciudades en que se presentaron asociaciones estadísticamente significativas diferentes (positiva y negativa respectivamente). El Alzheimer tiene una relación inversa en tres ciudades y no diferente de 1 en el resto salvo en una en que fue positiva y significativa la relación. Las otras causas de muerte presentaron $RR > 1$ en pocas ciudades.

Entre los hombres, el exceso de mortalidad fue significativo y representó más del 10% de muertes en exceso en nueve de las once ciudades. Para las mujeres el exceso de muertes por condiciones de privación fue inferior al 10% para la mayoría de las ciudades y solo en siete fue significativamente distinto de 0.

Lógicamente, la mayor parte de las asociaciones significativas se han encontrado en las ciudades más grandes por la existencia de desigualdades más marcadas en estas ciudades y porque el poder estadístico es mayor (más cantidad absoluta de muertes y mayor número de secciones censales).

Las diferencias en el rango del índice de privación entre las ciudades no permite la categorización del índice utilizando el mismo punto de corte y por esta razón lo que se compara es el exceso de mortalidad del percentil 95 con el percentil 5. La consistencia de los resultados encontrados implica que la privación socioeconómica se relaciona con la mortalidad independientemente del nivel absoluto de privación, tal como concluyen los autores.

Los resultados del proyecto MEDEA se han publicado en varias comunidades autónomas españolas. En concreto, el País Vasco, además de la publicación convencional⁸⁷, lo publica de forma abierta y en diversos formatos. En concreto, se puede acceder a los datos del atlas de mortalidad en los siguientes formatos:

- MDB y CSV: cada uno de estos enlaces contiene toda la información estadística

en formato *access* y en formato de texto.

- SHP: Datos geográficos de la Comunidad Autónoma del País Vasco y las capitales en formato *shape* de ArcGis. Se accede vía *ftp* a un fichero *zip*. Los archivos *shape* junto con los datos estadísticos permiten representaciones de la mortalidad tanto con ArcGis como con software libre como por ejemplo R.
- KMZ: Archivos de mapas de la CAPV y las capitales en formato KMZ que se pueden abrir con Google Earth. Se puede observar aquí el resultado de una vista en Google Earth.

Se trata, sin duda, de una muy interesante forma de compartir la información espacial sobre temas de salud.

Figura 65. Atlas de mortalidad en áreas pequeñas de la C.A. del País Vasco. Bilbao. Mujeres. Tumores malignos. 1996-2003



Fuente: <http://opendata.euskadi.net/> y Google Earth. 2012

4.1.6. La exposición a contaminantes atmosféricos

La calidad del aire y la salud

Desde la década de los 80, pero sobre todo a partir de la década de los 90 del siglo pasado, se vienen realizando numerosos estudios epidemiológicos que intentan

establecer las posibles relaciones existentes entre los niveles de contaminación que soporta la población que vive en las ciudades, con efectos en mortalidad o en morbilidad.

A modo de ejemplo, los resultados que se han encontrado sobre los efectos a corto plazo en el estudio multicéntrico español de contaminación atmosférica y mortalidad (EMECAM) y el estudio multicéntrico sobre los efectos de la contaminación atmosférica y la salud (EMECAS)⁸⁸ llevados a cabo durante 10 años en 14 ciudades españolas con una población total de más de 10 millones de personas son los siguientes:

- a. La contaminación habitual que existe en las ciudades se asocia con un incremento del riesgo de mortalidad, tanto general como cardiovascular y respiratoria, así como con un incremento del número de ingresos hospitalarios especialmente los relacionados con enfermedad cardiovascular.
- b. Estos incrementos del riesgo se han podido cuantificar de tal forma que por cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de contaminación por partículas (PM10) se produce en torno al 3% de incremento a su vez tanto de mortalidad por enfermedades circulatorias como de mortalidad por enfermedades respiratorias.
- c. En el caso de los ingresos urgentes hospitalarios los riesgos se sitúan también en ese nivel del 3% (por cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de contaminación por PM10) sobre todo en pacientes con asma y EPOC para las enfermedades respiratorias y para las enfermedades circulatorias, las isquémicas y las cardíacas

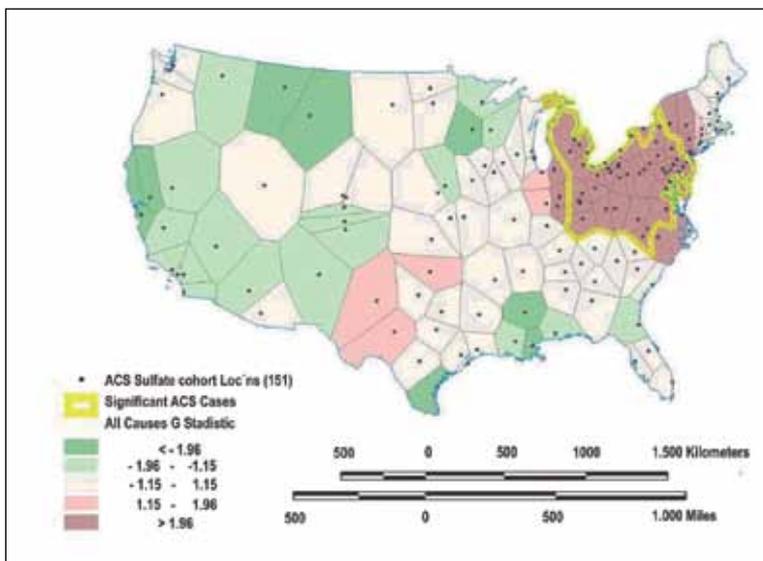
Estos estudios han buscado sobre todo la relación temporal entre contaminación atmosférica y salud.

La exposición a contaminantes atmosféricos. Lo que pueden aportar los SIG

Un ejemplo del uso de la autocorrelación espacial para analizar variables de salud relacionadas con la contaminación atmosférica lo tenemos en el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer sobre asociación entre mortalidad y contaminación atmosférica por partículas⁸⁹ que encontró un *cluster* significativo de alta mortalidad en el área de los Grandes Lagos no asociada a factores individuales.

Los SIG introducen la posibilidad del análisis de la exposición diferencial en función del territorio. No todas las zonas de las ciudades presentan las mismas condiciones. Además, la población no se distribuye homogéneamente. El primer reto, por tanto, al que se enfrenta el análisis geográfico es el conocimiento de cuánta población y de qué características demográficas está expuesta a niveles altos de contaminación.

Figura 66. Asociación entre mortalidad y contaminación atmosférica por partículas



Fuente: Krewski. 2000⁸⁹

Cuantificación de población residente en espacios contaminados

Un ejemplo es el utilizado en el panel de indicadores del Observatorio de Alimentación, Medio Ambiente y Salud de la Comunidad de Madrid (España) que mantiene actualizados varios indicadores relacionados con la contaminación atmosférica. Se trata de los indicadores que cuantifican la población potencialmente expuesta a concentraciones altas de partículas en suspensión - medidas como PM₁₀ y PM_{2,5}-, dióxido de nitrógeno -NO₂- y ozono -O₃- troposférico. También se vigilan el dióxido de azufre -SO₂- y el monóxido de carbono -CO-, pero estos contaminantes no presentan problemas en Madrid. Es, a su vez, un ejemplo de uso del análisis de mapas de puntos, generación de un modelo espacial por interpolación y superposición de capas de polígonos y puntos.

A partir de los datos de las estaciones de la Red de control de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid y del Sistema integral de vigilancia, predicción e información de la contaminación atmosférica de la ciudad de Madrid (mapas de puntos), se modeliza el comportamiento de la contaminación atmosférica para el conjunto del territorio de la Comunidad de Madrid. En la Figura 67 se puede observar el modelo de predicción de niveles de ozono. Las isocoras representan los días en que se registraron en 2011 valores medios octohorarios de ozono troposférico superiores al límite de protección de la salud humana. No se deben superar más de 25 días por lo que las dos clases superiores representadas están por encima de ese imperativo legal.

Con los datos aportados por este modelo de predicción y mediante superposición de capas geográficas de esas concentraciones esperadas y la distribución de población por domicilio postal y por grandes grupos de edad, se obtienen las estimaciones de

población expuesta a niveles más altos de los establecidos en la normativa aplicable y en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Mientras que el dióxido de azufre y el monóxido de carbono no registran niveles altos, la población expuesta a dióxido de nitrógeno y a ozono podría representar niveles elevados. La operación dará como resultado una tabla con los porcentajes o cifras absolutas de población por grupos de edad y género potencialmente expuestas a niveles elevados de contaminación, obtenida mediante la superposición de capas de contaminación y población.

Tabla 3. Porcentaje* de población expuesta a concentraciones de NO₂ superiores a los valores límite de protección a la salud humana

Más de 18 veces con valores horarios superiores a 200µg/m³	
Todas las edades	33,26%
Menores de 15	28,85%
Mayores de 79	46,98%
Valores superiores a 40 µg/m³ de media anual	
Todas las edades	51,41%
Menores de 15	44,41%
Mayores de 79	70,29%

**Las cifras no son reales, se muestran a modo de ejemplo para ilustrar lo que podría ser la salida.*

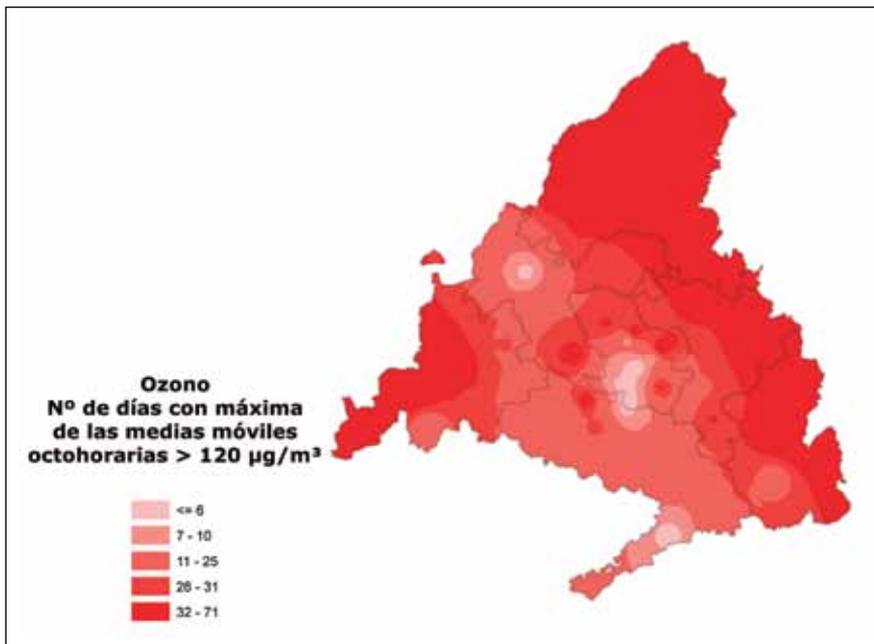
Fuente: elaboración propia.

Estudios realizados por el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII)⁹⁰ para ozono confirman lo obtenido en el modelo de predicción, siendo las zonas suroeste y norte de la Comunidad de Madrid donde debería extremarse la vigilancia de los niveles de ozono en aire ambiente y la realización de estudios epidemiológicos.

En cuanto a compuestos orgánicos volátiles, investigadores del ISCIII⁹¹, en estudios elaborados en el área del municipio de Madrid en el proyecto PEOPLE, cuyo objetivo era principalmente evaluar la contaminación del aire ambiente por benceno y la exposición a que estaban sometidos los ciudadanos de varias ciudades europeas en 2003, concluyeron que las concentraciones de benceno de fondo en ciudades era comparable a lo obtenido para los grupos control de exposición personal en casas de no fumadores, siendo las fuentes dominantes de contaminación para benceno el tráfico y el humo del tabaco. La ampliación de este proyecto en Madrid⁹² concluyó que los datos de calidad del aire de las redes en las ciudades solo representan la exposición del grupo control (no fumadores y ciudadanos que no usan medios de transporte). Sin embargo, no es buen indicador de la exposición en ciudadanos que están expuestos a emisiones en ambientes interiores como el tabaco y que se mueven y trabajan en las proximidades del tráfico. Igualmente⁹³, mediante la utilización de los SIG se encontraron las mayores concentraciones de benceno en la ciudad de Madrid y las menores en áreas rurales.

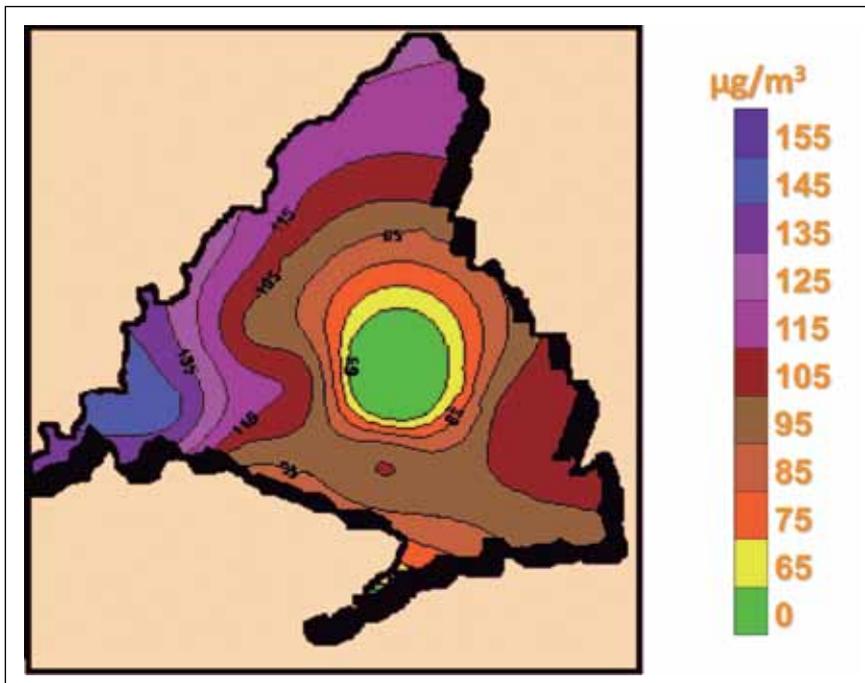
Figura 67. Exposición a la contaminación atmosférica. Ozono.

1. Modelo de predicción de valores de ozono en la Comunidad de Madrid. España.



Fuente: Elaboración propia

2. Valores observados de ozono mediante captadores pasivos en la Comunidad de Madrid. España.

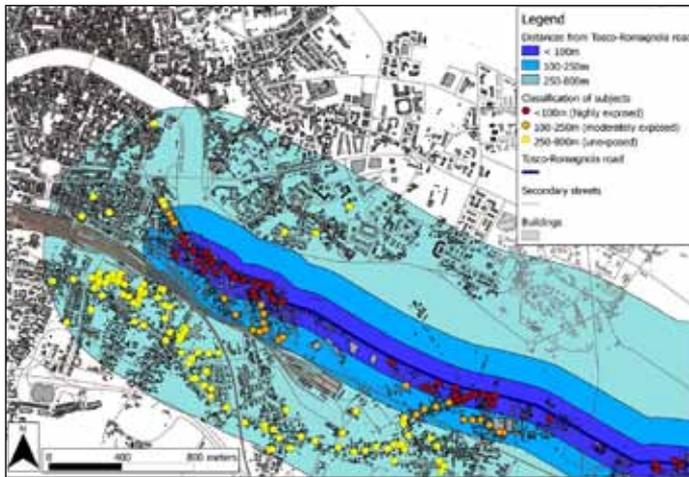


Fuente: Instituto de Salud Carlos III⁹⁰

Exposición por proximidad

Nuvolone et al⁹⁴ utilizan el análisis de proximidad para evaluar la influencia sobre la aparición de enfermedades respiratorias que puede tener el vivir en las cercanías de grandes vías de tráfico en el área de Pisa-Cascina, en el centro de Italia.

Figura 68. Diferencias de exposición en función de las distancias a vías de tráfico en el área de Pisa-Cascina.



Fuente Nuvolone. 2011⁹⁰

Como se ve en la Figura 68, se clasificaron los sujetos participantes en una encuesta epidemiológica según la distancia a la que vivían de una vía principal de tráfico en tres grupos:

< de 100 m. (puntos rojos)	muy expuestos
100 – 250 m. (puntos naranjas)	moderadamente expuestos
250 – 800 m. (puntos amarillos)	no expuestos

Las conclusiones del estudio señalan que los muy expuestos se asocian con problemas respiratorios crónicos, tanto subjetivos (según el cuestionario de la encuesta) como obtenidos a partir de pruebas de alergia y de función respiratoria. Los riesgos ajustados se incrementaron en los hombres para sibilancias persistentes (OR=1,76), diagnósticos de EPOC (OR=1,80) y capacidad espiratoria reducida expresada como la ratio FVC/FEV₁ (OR=2,07), mientras que para las mujeres se incrementaron la disnea (OR=1,61), los *prick-test* cutáneos positivos (OR=1,83), los diagnósticos de asma (OR=1,68) y la dificultad para respirar con sibilancias (OR=1,67).

El criterio de la distancia y el gradiente que esta puede suponer en la aparición de efectos es el objetivo de un trabajo abordado por investigadores del Instituto de Salud Carlos III⁹⁵ en el que se investiga si puede haber un exceso de mortalidad debida a tumores de pulmón, laringe y vejiga en la población que reside cerca de las centrales térmicas españolas incluidas en el *European Pollutant Emission Register* EPER (actual-

mente RPTR: Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, por sus siglas en inglés).

Se trata de un estudio ecológico que abarca los años 1994-2003. La exposición de la población se estimó sobre la base de la distancia desde la ciudad de residencia a la fuente de contaminación. Se analizó el riesgo de morir por cáncer en un radio de 5 km alrededor de las instalaciones que comenzaron las operaciones antes de 1990; los efectos según el tipo de combustible utilizado y el gradiente de riesgo en un radio de 50 km de tales instalaciones.

Se detectó un exceso de mortalidad en la proximidad de las instalaciones anteriores a 1990 para cáncer de pulmón, en población general, pero especialmente en hombres. El exceso se produjo para cualquier tipo de carburante y se detectó un gradiente de efectos en varias instalaciones.

En el Observatori de Salut i Medi Ambient del Camp de Tarragona de la Agència de Protecció de la Salut de Catalunya (en colaboración con el Institut d'Investigació Sanitària Pere Virgili), partiendo de la evidencia de que existen variaciones geográficas importantes de la prevalencia de asma y alergia en la infancia y la adolescencia, han investigado la prevalencia y la severidad del asma en los escolares residentes en zonas a diferentes distancias del complejo químico de Tarragona, con el objetivo de comprobar si la exposición a contaminantes atmosféricos podría tener influencia en la salud respiratoria de niños y adolescentes⁹⁶. En el siguiente capítulo los autores hacen un resumen de su investigación (Ver apartado 4.2.3).

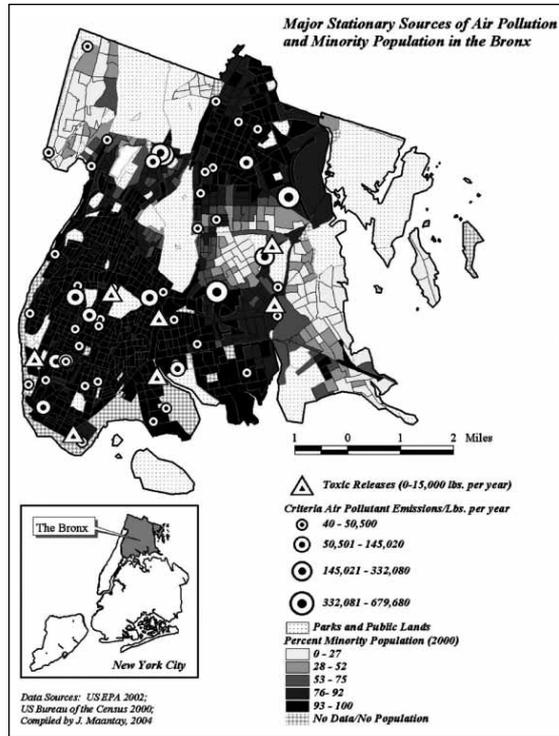
En el proyecto HEREPLUS⁹⁷ (*Health Risk from Environmental Pollution Levels in Urban Systems*), la utilización de SIG ha demostrado ser una herramienta útil para realizar mapas que relacionan salud y concentración de contaminantes, indicando una correlación entre eventos cardiorrespiratorios y exposición a partículas PM10, así como una relación con el lugar y el tiempo⁹⁸. Igualmente, el riesgo relativo de muertes por todas las causas (excepto accidentes), respiratorias y cardiovasculares a corto plazo en las tres zonas diferenciadas de la Comunidad de Madrid aumenta cuando se incrementan en 10 µg/m³ las concentraciones medias diarias de partículas PM10 y en 10 µg/m³ las concentraciones máximas octohorarias de ozono⁹⁹.

Por su parte, Juliana Maantay¹⁰⁰ examina la relación espacial entre el asma y la contaminación del aire en el Bronx, Nueva York. El análisis de proximidad encontró que las personas que viven cerca de los usos del territorio que pueden presentar riesgos para la salud humana tenían más del 66% de probabilidades de ser hospitalizados por asma, y un 30% más de probabilidades de ser pobres y un 13% más de probabilidades de ser una minoría que los que residían fuera de las áreas de influencia de esos usos del territorio.

El trabajo se centra en el Bronx distrito de 1,3 millones de habitantes con una prevalencia de asma doble de la de la ciudad de Nueva York en su conjunto. La calidad del aire está fuertemente impactada por la concentración de instalaciones incluidas en el inventario americano de emisiones tóxicas (TRI por sus siglas inglesas), de genera-

ción de energía, de procesamiento de lodos y de gestión de residuos, además de una densa red de autopistas y rutas de tráfico pesado. Respecto al contexto de justicia ambiental tiene la media más baja de ingresos y la más alta de niveles de pobreza y de minorías; los niveles educativos más bajos y el más alto de hogares monoparentales (de madre sola con niños) en relación al resto de la ciudad. Al contrario de lo sucedido en Nueva York en su conjunto, aquí las recalificaciones han ido hacia la creación de más suelo industrial.

Figura 69. Justicia ambiental en el Bronx



Fuente: Maantay, 2007⁹³

En su trabajo Maantay reflexiona sobre las limitaciones de los SIG en los estudios sobre justicia ambiental por las deficiencias de los datos y las deficiencias metodológicas: dudas en la delimitación óptima del área de estudio (escala), en la determinación del nivel de resolución (unidad de análisis) y de la unidad de agregación espacial de los datos, la estimación de la distancia y el área de exposición. Además, la autocorrelación espacial se convierte en un impedimento para la aplicación de pruebas estadísticas convencionales.

La extensión y resolución espacial tienen una gran importancia en los resultados, pero dependen de la disponibilidad de datos por lo que lo más frecuente es utilizar las unidades geográficas administrativas que pueden tener poco que ver con la definición

de la población expuesta real o potencialmente. Además, está el problema de la unidad espacial modificable tal como se ha definido antes. En definitiva, el autor se cuestiona las unidades usadas para agregar datos porque son, a menudo, arbitrarias con respecto a los fenómenos o sucesos investigados.

Hechas estas reflexiones, la autora opta por la unidad de análisis más pequeña disponible pues produce resultados más precisos y realistas en términos de justicia ambiental y salud. En este caso son las secciones censales para los datos demográficos, registros individuales de ingresos para los datos de efectos en salud agregados por sección censal (asma) y usos individuales del suelo para variables ambientales (Inventario de Emisiones Tóxicas, vías de tráfico pesado y autopistas de alta densidad de tráfico. No se trabaja con emisiones ni niveles de inmisión de contaminantes específicos).

En cuanto a las limitaciones del estudio, que sirven para muchos otros estudios, se señalan las siguientes:

- Se estudian solo los casos más agudos de asma.
- La información de emisiones es proporcionada a la EPA por las propias industrias y son estimadas, no medidas.
- Respecto al tráfico, no se consideran otras vías alternativas.
- En los datos demográficos hay siempre una subestimación de comunidades pobres e inmigrantes en los censos oficiales.

Junto a estas incertidumbres, no hay que olvidar las incertidumbres geométricas inherentes a todos los datos geográficos.

¿Cómo se determina en este estudio la exposición potencial? Se desecha el método de coincidencia espacial, es decir que la población expuesta sea la que vive en una sección censal en la que hay fuente emisora. Se aborda un análisis de proximidad con áreas de influencia de radios diversos ($\frac{1}{2}$ milla para TRI; $\frac{1}{4}$ de milla para otras fuentes fijas importantes; 150 metros del eje de las carreteras) y se trabaja con una sola capa con todas las áreas de influencia combinadas.

Se calculan tasas para las secciones que son cortadas por los polígonos de las áreas de influencia y se realiza un análisis por proporcionalidad a partir de los subpolígonos obtenidos en la superposición de capas (interpolación superficial): se supone homogeneidad espacial de la información.

Hay que señalar otra limitación en la metodología utilizada en este estudio y en el referido anteriormente (Nuvolone D et al): al lado de las carreteras no vive nadie por lo que se puede producir una sobreestimación del denominador y subestimación consiguiente de la tasa puesto que, por el criterio de la proporcionalidad, se asigna población a espacios inhabitados. Esta limitación se puede corregir si se utiliza la nube de puntos de los domicilios postales para establecer la proporcionalidad tal como se ha visto antes (4.1.3).

Estimación de la inmisión en espacios y tiempos concretos

Como se ha reiterado, la exposición humana a contaminantes ambientales implica una relación espaciotemporal entre la emisión de un contaminante al medio y la existencia de una población potencialmente vulnerable. Por ello es interesante explorar las posibilidades que ofrecen los SIG para evaluar a la vez ambas dimensiones, el tiempo y el espacio. Parece indicado a este respecto utilizar como ejemplo los estudios con biomarcadores y SIG.

Los estudios de indicadores biológicos de la exposición a escala individual mediante el análisis de la presencia de compuestos químicos en matrices biológicas (sangre, orina, pelo, etc.), aunque despejan muchas dudas relacionadas con la ingesta y con la dosis real de exposición a contaminantes ambientales, dejan también sobre el tapete incertidumbres relacionadas con las rutas de exposición que ha dado lugar a esa ingesta. ¿Cómo ha entrado en contacto la persona monitorizada con el contaminante? ¿Cuál ha sido la vía de exposición: consumo de alimentos, inhalación de aire contaminado, contacto dérmico...?

Los SIG pueden intervenir en la mejora de la estimación de la exposición individual a niveles ambientales (inmisión) conocidos, tal como se ha visto en un estudio sobre niveles de arsénico en agua y resultados del test de estado mental ya citado⁵⁶. Supongamos una muestra de sujetos a los que se les han extraído muestras de tejidos o fluidos corporales que se han analizado para determinar la presencia en ellos de algún contaminante. Lógicamente, los niveles del marcador biológico encontrados variarán en los diferentes individuos. También podrán variar en función del periodo de extracción de la muestra a analizar; imaginemos que en nuestro supuesto son más altos en el mes de febrero que en el mes de abril.

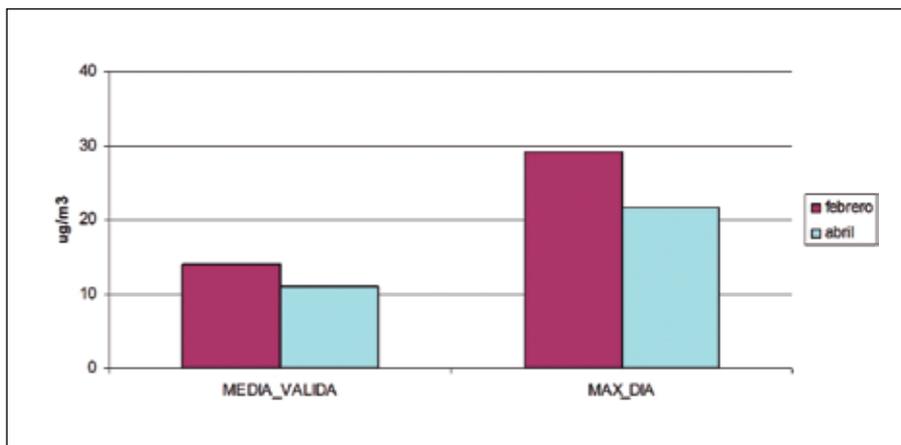
Supongamos también que es plausible que el contaminante haya alcanzado el organismo vía respiratoria y que el contaminante en cuestión (por ejemplo un metal pesado) se encuentra en la atmósfera de la ciudad en la que residen los sujetos. Así pues, podemos sospechar que la cantidad variable del metal pesado (u otro contaminante) en la matriz biológica que se está estudiando (sangre, pelo, orina) puede tener aparentemente una cierta asociación con la contaminación atmosférica.

Entre los contaminantes monitorizados en la atmósfera de nuestra ciudad no se encuentra el contaminante que buscamos pero una medida indirecta es la de las PM_{2,5} o fracción respirable de las partículas en suspensión. Las PM_{2,5} son “partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo, definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM_{2,5} de la norma UNE-EN 14907, para un diámetro aerodinámico de 2,5 µm con una eficiencia de corte del 50%”¹⁰¹. Las partículas no están definidas por tanto por su contenido sino por su naturaleza sólida y su tamaño y pueden estar compuestas por diferentes elementos químicos.

Para evaluar la posible asociación de estos niveles diferentes de exposición con los distintos valores de inmisión de contaminantes atmosféricos, disponemos de los

datos de los muestreos de contaminación del aire proporcionados por las estaciones de la red de control de la calidad del aire y disponemos también de la información sobre el lugar de residencia de los sujetos de la muestra. De esta forma, tenemos dos capas de información espacial referidas a puntos (ubicación de las estaciones y ubicación de los domicilios).

Figura 70. PM2,5. Promedio mensual de los valores medio diario y máximo horario diario en los meses de febrero y abril.



Fuente: elaboración propia

Lo primero que observamos al estudiar los datos de contaminación atmosférica es que efectivamente no se puede descartar una relación temporal puesto que los niveles atmosféricos de PM2,5 son más altos cuando más altos han aparecido en los resultados analíticos de las muestras biológicas (mes de febrero).

Para analizar la posible asociación espaciotemporal sugerida entre niveles de PM2,5 en la atmósfera y los elevados niveles en la matriz biológica hay que estimar la concentración de PM2,5 en el entorno del domicilio de cada individuo de la muestra en el día de la extracción y en los días anteriores.

En este ejercicio, para estimar los valores de contaminación atmosférica en los domicilios se utilizan los valores de concentración de PM2,5 expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire registrados en las estaciones que miden este contaminante en la red de control de la calidad del aire. Se analizan los registros de los días en los que han tenido lugar las extracciones de las muestras. Pero además de la contaminación del mismo día se quiere considerar la situación de los días inmediatamente anteriores a la extracción (retardos o *lags*). Lógicamente se determinarán estos retardos en función de la plausibilidad biológica para la ruta y vía de exposición concreta del contaminante estudiado, seleccionando cuál es el retardo que mejor explicaría los niveles de exposición encontrados. En este ejercicio para cada día (D) de extracción de la muestra de sangre, orina, pelo,... se generan ocho variables con los siguientes valores:

- Media D: Valor medio de PM_{2,5} del día D, o promedio de las 24 medias horarias registradas el día de la extracción.
- Media *lag* 1: Valor medio de PM_{2,5} del día anterior a la extracción.
- Media *lag* 1 a 3: Promedio de las medias diarias de los tres días anteriores a la extracción.
- Media *lag* 1 a 7: Promedio de las medias diarias de los siete días anteriores a la extracción.
- Máximo D: Valor máximo de los 24 valores horarios de PM_{2,5} registrados el día de la extracción.
- Máximo *lag* 1: Valor máximo horario del día anterior a la extracción.
- Máximo *lag* 1 a 3: Promedio de las máximas horarias diarias de los tres días anteriores a la extracción.
- Máximo *lag* 1 a 7: Promedio de las máximas horarias diarias de los siete días anteriores a la extracción.

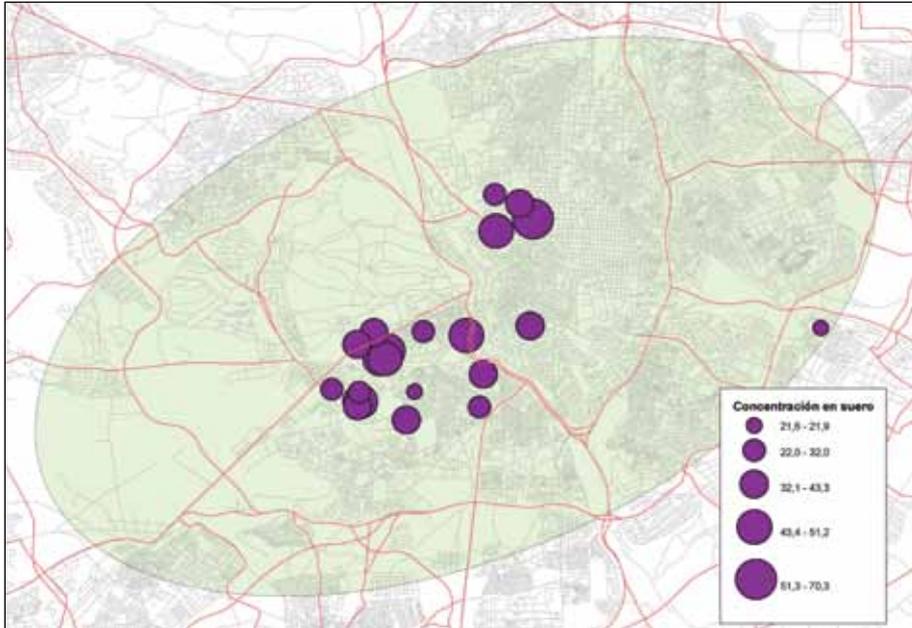
De esta forma se cubre un periodo de ocho días (desde D hasta D-7) para estimar la exposición aguda. Si buscáramos la exposición crónica deberíamos incluir variables promedios de periodos más amplios.

Se puede pensar que basta emparejar los datos de concentración del contaminante en la matriz biológica del caso A y el nivel del contaminante en aire medido en la estación más cercana al domicilio del caso A (del día o de los retardos elegidos). El problema es que de esta manera no se pondera la distancia del domicilio a la estación, por lo que es preferible trabajar con los datos proporcionados por modelos predictivos que sí tienen en cuenta esta y otras variables topológicas.

Para elaborar la predicción se genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos con valores medidos de una variable. Para ello se puede utilizar cualquiera de los métodos de interpolación señalados antes aunque, como se ha visto, el método *kriging* es el que reduce el error de la predicción de forma más eficiente. El procedimiento está basado en modelos estadísticos que tienen en cuenta la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas y topológicas entre los puntos medidos. Se presupone que la distancia y la dirección entre los puntos de la muestra reflejan una correlación espacial que debe utilizarse para explicar la variación de la variable analizada (en este caso la concentración de PM_{2,5} en el aire ambiente) en toda la superficie del estudio. De este modo se estima un valor de inmisión para cada punto del territorio. De disponer de una variable discreta en el territorio, puesto que solo teníamos valores de las estaciones de medición, hemos pasado a una variable continua en toda la superficie de nuestro territorio.

A partir de las ocho variables de cada estación, se generan modelos de predicción espacial de los niveles de las PM_{2,5} para cada variable utilizada, para cada día de toma de muestra y para todo el territorio.

Figura 71. Concentración de contaminante en matriz biológica por domicilio de los individuos de la muestra



Fuente: datos aleatorios; elaboración propia

Figura 72. Predicción de la variable “Máximo lag 1 a 3” para uno de los días de toma de muestra



Fuente: datos aleatorios; elaboración propia. 2012

Una vez validados los modelos y mediante la superposición de la capa ráster de cada una de las predicciones diarias y la capa de puntos obtenida a partir de la georreferenciación de los domicilios de la muestra, se puede asignar a cada caso los niveles de inmisión de PM2,5 predichos para el día de la extracción en el entorno de su domicilio. Esta información se puede cruzar con los valores de los marcadores en matriz biológica para estudiar la posible asociación estadística.

El resultado es una tabla en la que tenemos el nivel del biomarcador y el de inmisión individualizado para cada caso

Tabla 4. Niveles de biomarcadores y niveles de inmisión individualizados

ETIQUETA ID	FECHA_EXTR	Concentración del biomarcador en la matriz biológica	Concentraciones de PM2,5 en aire en el entorno de los domicilios el día de la extracción y anteriores							
			MEDIA diaria	MED_LAG_1	MED_LAG1_3	MED_LAG1_7	MAX_DIA	MAX_LAG1	MAX_LAG1_3	MAX_LAG1_7
1	16-mar	51,20	27,00	23,04	28,31	25,13	52	34	45,33	47,57
2	16-mar	46,20	19,25	19,58	21,48	18,81	49	43,59	41,45	43,69
3	16-mar	39,40	15,40	14,82	16,62	13,58	33,53	22	24,00	22,57
4	30-mar	47,20	7,53	5,07	11,23	10,60	11,74	7,56	18,19	18,27
5	1-abr	40,60	17,42	12,35	10,47	14,16	35,04	17,65	15,97	29,13
22	18-may	21,90	7,39	7,65	8,32	9,13	14,64	20,29	18,18	23,60
23	18-may	30,40	8,36	5,39	6,43	7,01	11,91	8,7	11,16	12,35
24	19-may	28,10	15,53	10,85	9,90	9,62	52,78	24,3	17,32	19,16
25	19-may	21,60	15,53	10,85	9,90	9,62	52,78	24,3	17,32	19,16
26	26-may	27,00	9,08	7,04	9,13	17,93	24,33	17,62	32,52	39,01

Fuente: datos aleatorios; elaboración propia. 2012

Aunque el procedimiento puede parecer laborioso (se generan tantos modelos como días de extracción multiplicados por el número de variables), se puede facilitar enormemente mediante el uso de rutinas prediseñadas y contando con la creciente velocidad de cálculo de los procesadores.

Aun a pesar de las limitaciones propias de los datos geográficos, tales como las posibles inexactitudes geométricas de la georreferenciación, las posibles inexactitudes de las variables muestreadas – tanto de las determinaciones analíticas de los biomarcadores como de los contaminantes atmosféricos-, y las incertidumbres de los modelos de predicción espacial, etc., hay que saludar el hecho de que, por una vía que hasta hace poco resultaba impensable, por inviable técnicamente, se puedan explorar mecanismos que permitan la medida individual de la exposición a contaminantes ambientales o, al menos, los niveles de inmisión específicos para cada sujeto en el lugar y momento de interés.

No obstante, como no podía ser de otra manera, aquí no se agotan los intentos de mejorar la estimación de la exposición, ya que esta no se produce únicamente en el entorno de los domicilios de residencia. Al hablar de exposición a la contaminación atmosférica también hay que considerar la exposición en los espacios que la población utiliza por razones escolares, laborales, de compras, de esparcimiento, etc., tal como se ha visto en el apartado sobre la evaluación de salud pública. Y, además, no se puede olvidar la exposición en ambientes interiores (residencias, centros de trabajo, medios de transporte, etc.) puesto que es en estos ambientes donde las personas emplean la mayor parte del tiempo. En un estudio realizado por el Observatorio de Alimentación, Medio Ambiente y Salud de la Comunidad de Madrid¹⁰² se revela que el 80% de la población adulta está al aire libre menos de cuatro horas diarias durante los días laborales, que es cuando más contaminación atmosférica se registra en ambientes exteriores. Hay que tener en cuenta esta proporción a la hora de evaluar la exposición a los contaminantes en ambientes exteriores que son los que se miden de forma rutinaria.

Wu et al¹⁰³ han realizado una investigación en la que, a partir de los datos continuos recogidos por GPS portados por cuarenta y siete voluntarios durante tres días en la ciudad de Los Ángeles, intentan modelizar los patrones espacio temporales de la actividad diaria. Más allá de los modelos que utilizan los autores para clasificar estos patrones y sus resultados, que se escapan del objetivo de este libro, el estudio clasifica el tiempo y el espacio en cuatro situaciones: interior, exterior estático, exterior caminando y en el interior de vehículos. El porcentaje de tiempo en cada una de las situaciones es el 83,4%, 6,1%, 3,3% y 7,2%, respectivamente. Destaca con mucho, el número de puntos registrados por los GPS en ambientes interiores. Hay que considerar que el estudio se realiza en una ciudad con unas condiciones de movilidad muy particulares y apenas aparecen situaciones, como el uso de bicicletas o los transportes públicos como el bus o el metro, más habituales en otras ciudades, pero eso no altera el hecho sustancial de que se vive en ambientes interiores donde la exposición a contaminantes atmosféricos es muy diferente a lo que habitualmente se vigila.

Efectivamente, para evaluar el impacto en salud de la contaminación atmosférica procedente del tráfico rodado, hay que tener en cuenta las variaciones espaciotemporales tanto de los niveles de contaminación como el movimiento diario de los individuos¹⁰⁴. “En última instancia, los seres humanos son agentes activos que construyen sus propios contextos geográficos y unen diferentes escalas espaciales a través de sus actividades, movimientos e interacciones sociales diarias. Las interconexiones entre las personas y el territorio son extraordinariamente complejas y dinámicas, y deben ser conceptualizadas y examinadas como tal”¹⁰⁵.

Así pues, la evaluación espaciotemporal de la exposición individual a contaminantes atmosféricos y a otros factores ambientales constituye un reto difícil, pero al que se puede aspirar con la profundización de los estudios de marcadores biológicos y el apoyo de los modelos espaciales proporcionado por los SIG.

4.2. Estudios originales de salud ambiental que utilizan sistemas de información geográfica

4.2.1. El Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC). España

Autores: Margarita Palau Miguel y Fernando Carreras Vaquer

Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.

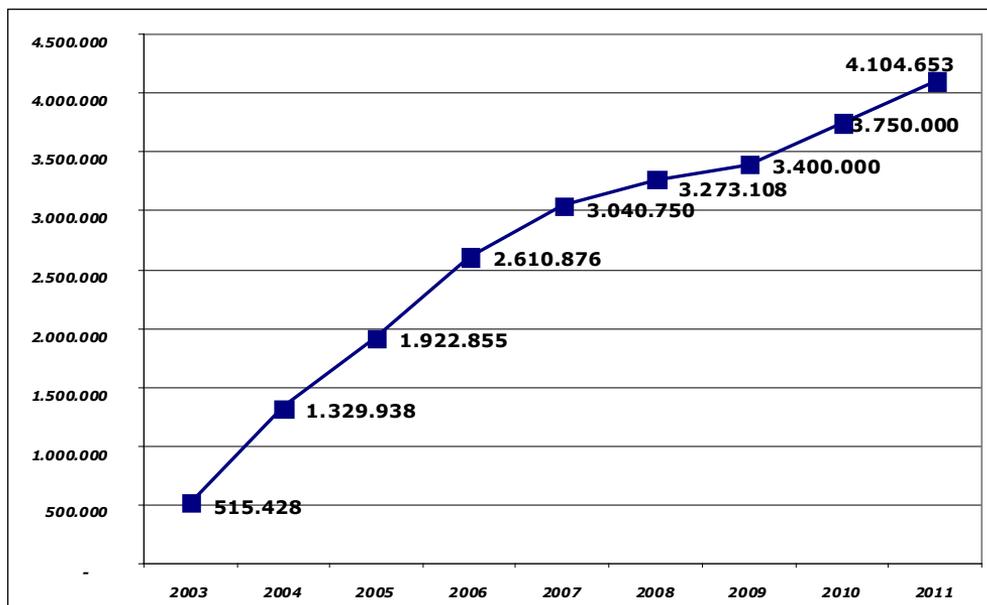
Introducción

El control sanitario del agua de consumo humano es un objetivo prioritario de la salud pública. La legislación es el instrumento para garantizar que el agua de consumo sea salubre y limpia, eliminando o reduciendo la concentración de contaminantes microbiológicos y físico-químicos que puedan afectar a la salud humana. En el caso de España, la legislación de referencia es el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano¹.

Para armonizar el cumplimiento de los requerimientos legales se puso en marcha el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo (SINAC)² que centraliza la información sobre los abastecimientos de agua potable y su situación sanitaria en España, así como la referente a los controles analíticos. El SINAC es desde 2003 una aplicación Web³ en la que los usuarios profesionales introducen datos a tiempo real sobre las características de las infraestructuras del abastecimiento, los laboratorios de control de agua, las inspecciones sanitarias y sobre calidad del agua de consumo; además, pueden consultar toda su información. Cada usuario profesional tiene acceso solo a la gestión de su información o a la que se le ha dado acceso. Es una aplicación segura que necesita certificado digital de la clase 2CA de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre u otro compatible. La gestión de usuarios está descentralizada en comunidades autónomas e incluso en ayuntamientos y empresas abastecedoras; en cambio, la definición de la información está centralizada en la administración de la aplicación.

Para facilitar la notificación, los datos se introducen allí donde se generan y tan pronto como es posible. Es comprensible que durante los primeros años del nuevo SINAC, la información fuera limitada, por ser el comienzo de una nueva andadura y pudiera parecer que la información fuera escasa en algunos casos (Figura 73). Desde su lanzamiento en diciembre de 2003, el incremento de información ha sido continuo, representando a finales del año 2010 datos sobre el 94% de la población. La información que se presenta en los informes anuales es la generada por los datos sobre calidad del agua de consumo humano a partir de los resultados de los controles analíticos de los parámetros obligatorios de la legislación vigente y notificados por las entidades gestoras y autoridades al SINAC.

Figura 73. SINAC. Evolución de las determinaciones notificadas

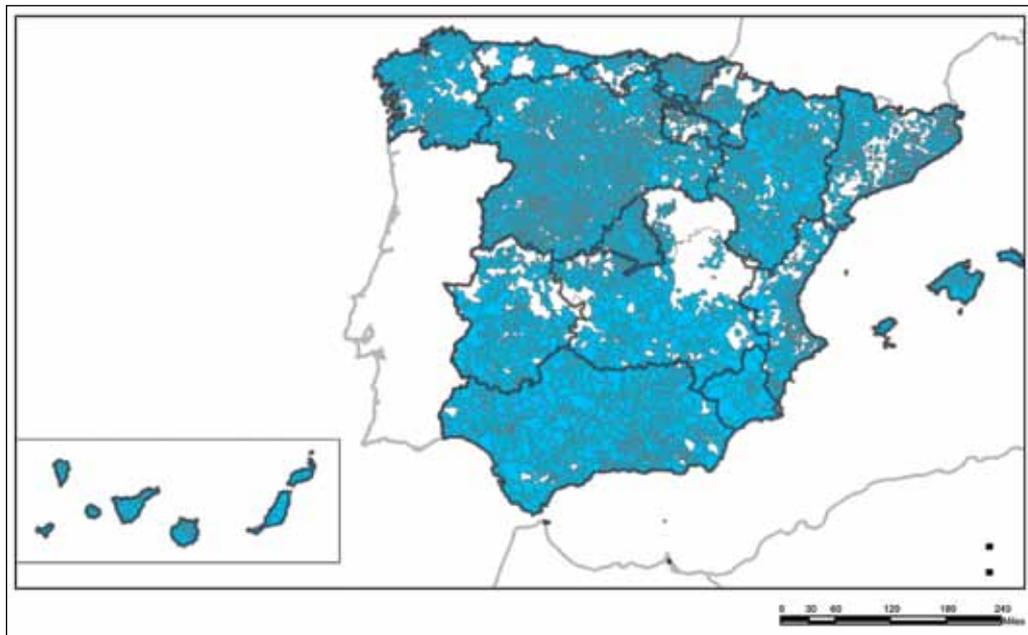


Fuente: SINAC. 2012

Los datos de la calidad del agua de consumo humano son introducidos en el SINAC por gestores de las infraestructuras del abastecimiento, ya sean empresas privadas, públicas o ayuntamientos a través de laboratorios públicos o privados. También introducen datos de calidad del agua de consumo la administración sanitaria de las comunidades autónomas y ciudades de Ceuta y Melilla correspondientes a su vigilancia sanitaria.

Para la representación geográfica de los datos contenidos en SINAC se ha desarrollado la aplicación ATLANTIS⁴ que es el Sistema de Información Geográfica de Calidad Sanitaria de las Aguas. ATLANTIS permite localizar geográficamente las infraestructuras de abastecimiento de agua en España e identificar a nivel territorial -local, autonómico y nacional- la calidad sanitaria del agua de consumo que distribuyen y suministran. Hasta este momento se ha implementado con la información del SINAC, pero está prevista la representación de otros sistemas de calidad sanitaria de las aguas, como NAYADE para aguas de baño. La fuente de información de ATLANTIS es la contenida en SINAC. La aplicación procesa y representa la información notificada en SINAC, lo que permite un análisis visual y espacial de la información existente sobre el agua de consumo en España y sus infraestructuras asociadas a nivel municipal o provincial. Hay que aclarar que no se incluyen a continuación imágenes sobre evaluación de la calidad de los abastecimientos en España sino imágenes que denotan la implementación de este sistema y alguno de sus indicadores de gestión.

Figura 74. Municipios con zonas de abastecimiento notificadas en SINAC



Fuente: ATLANTIS. 2012. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Información contenida en ATLANTIS y SINAC⁵

- **Zonas de abastecimiento (ZA)**

La unidad de información y por lo tanto la unidad de análisis básica es la zona de abastecimiento, que es el área geográficamente definida y censada por la autoridad sanitaria a propuesta del gestor del abastecimiento o partes de este, no superior al ámbito provincial, en la que el agua de consumo humano proviene de una o varias captaciones y cuya calidad en las aguas distribuidas puede considerarse homogénea en la mayor parte del año. Una zona de abastecimiento (ZA) debe estar compuesta por las infraestructuras que van desde una o varias captaciones hasta el grifo del consumidor.

En el año 2011 había notificadas 9.041 ZA que corresponden al 94% de la población empadronada a 1 de enero de ese año. De ellas, se notificaron resultados analíticos de 6.584 ZA que corresponde al 73% de las ZA notificadas en SINAC y al 90% de la población (Figura 74).

El 10,3% de las ZA notificadas eran mayores de 5.000 habitantes pero agregan al 84% de la población, mientras que el 89,7% de las ZA, menores de 5.000 habitantes, representaban al 16%. Notificaron boletines de análisis el 93,2% de las ZA mayores y el 70,5% de las ZA pequeñas.

- **Infraestructuras**

Se consideran infraestructuras las captaciones de agua, plantas de tratamiento, depósitos de cabecera y de distribución, cisternas móviles, redes de distribución e instalaciones interiores.

En cuanto al origen del agua, según lo notificado en SINAC, el 71% del agua captada al año es agua superficial y el 29% agua subterránea.

Los pozos entubados son el tipo de captación más frecuente (42%), seguido de manantiales (33%) y de ríos (10%). En relación con el volumen de agua captada al año son los ríos (48%) y los embalses (22%), de donde más agua se capta para suministro. El 82% de las captaciones de agua notificadas en SINAC, son de uso habitual y el 14% de uso ocasional o extraordinario.

El tratamiento de potabilización más frecuente es “solo la desinfección” (65%) seguido del tratamiento “físico normal, químico y desinfección” (19%). Por volumen de agua potabilizada por día, en primer lugar está el tratamiento “físico-químico intensivo, afino y desinfección” (53% del agua tratada), seguido del tratamiento “físico normal, químico y desinfección” (28%).

El tipo de depósito de almacenamiento de agua más frecuente es el “superficial” (38%) seguido del “semienterrado” (37%). Por capacidad de almacenamiento, en primer lugar está el depósito “semienterrado” (53% del agua almacenada) seguido del “superficial” (32%).

Las redes de distribución más frecuentes son la “mixta” (48%) seguida de la “red mallada” (30%). Por volumen de agua distribuida por día, en primer lugar está la red “mallada” (62% del agua distribuida) seguida de la red “mixta” (33%). Por kilómetros de longitud de red, en primer lugar está la red “no mallada” (72% de los kilómetros instalados de red) seguida de la red “mixta” (19%).

- **Puntos de muestreo**

Los puntos de muestreo (PM) están definidos en: salida de planta o tratamiento, salida de depósito, salida de cisterna, red de distribución y grifo de la instalación interior.

Son los lugares que han sido designados para la toma de muestras de agua para el control de su calidad dentro de cada ZA. Se han muestreado 40.383 PM distintos en el año 2010, de los cuales 27.442 son de infraestructuras, excepto captación y 12.746 de grifo (58% y 35% del total notificado respectivamente). El gran número que corresponden a infraestructuras se debe a la gran notificación de PM en zona rural durante el año 2010, pero en los que aún no han sido notificados boletines de análisis.

- **Boletines de Análisis**

Los boletines de análisis contienen los resultados de los análisis del control de calidad del agua de consumo humano. Existen varios tipos de análisis. Los oficiales, que se explicitan en la legislación, son:

Análisis de control: tiene por objeto facilitar al gestor y a la autoridad sanitaria la información sobre la calidad organoléptica y microbiológica del agua de consumo humano, así como información sobre la eficacia del tratamiento de potabilización.

Análisis completo: tiene por objeto facilitar al gestor y a la autoridad sanitaria información para determinar si el agua de consumo humano distribuida respeta o no los valores paramétricos definidos en la legislación.

Examen organoléptico: consiste en la valoración de las características organolépticas del agua de consumo humano: olor, sabor, color y turbidez.

Control en grifo: tiene por objeto conocer la calidad del agua de consumo que le llega al consumidor y se controlan aquellos parámetros que podrían cambiar a lo largo de la instalación interior.

Además de estos análisis oficiales, se notifican también los correspondientes a la vigilancia sanitaria realizada por la autoridad sanitaria competente y otros tipos de análisis, entre los que destaca el control de la desinfección, solicitado en algunas comunidades autónomas en el marco de su programa autonómico.

En el año 2010 se notificaron 583.230 boletines en SINAC. El 42% de los boletines son de análisis oficiales según el Real Decreto 140/2003 (análisis de control, análisis completo, examen organoléptico y control en grifo) y de vigilancia sanitaria. En la distribución de los boletines por tipo de análisis se observó que el 25% son de análisis de control y el 3% son de análisis completo. Los análisis de vigilancia sanitaria constituyeron el 1% del total de boletines notificados en el año 2010.

El 73% de las zonas de abastecimiento notificadas en SINAC, comunicaron boletines de análisis de agua de consumo humano. El 91% de las ZA que enviaron boletines notificaron análisis de control, un 6% menos que en el año anterior; el 65% de las ZA que cumplimentaron los boletines notificaron análisis completos, un 13% más que en 2009; y el 44% de las ZA notificaron en sus boletines análisis de grifo, un 7% más que en el año anterior. La autoridad sanitaria ha notificado boletines de análisis del 20% de las ZA al igual que en años anteriores.

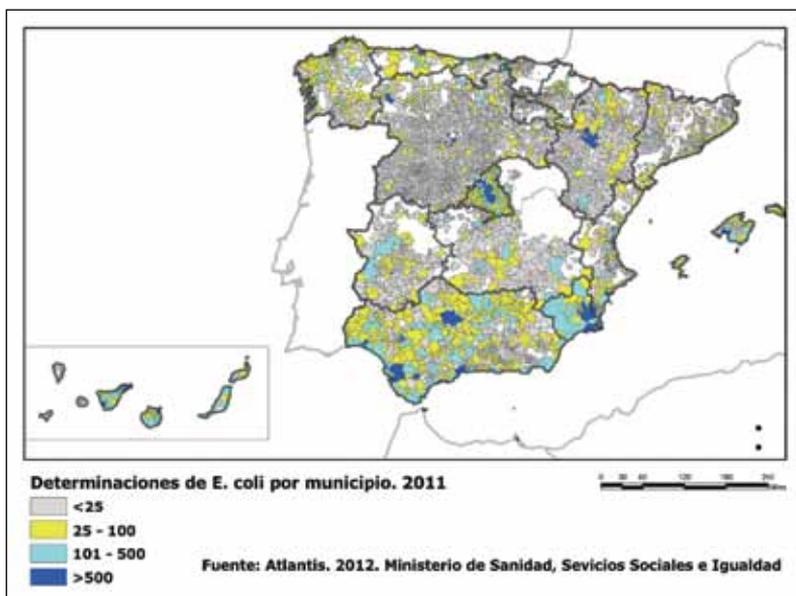
Respecto a la población censada, según los datos notificados en SINAC, se realizaron análisis de control o análisis completo para el 89% y 86% de la población empadronada respectivamente; análisis de grifo para el 45% y vigilancia sanitaria para el 12% de la población.

- **Parámetros controlados**

Los parámetros son agentes biológicos, químicos, físicos y fisicoquímicos que se controlan en el agua de consumo para conocer su calidad. Habitualmente se controlan 53 parámetros oficiales o con valor paramétrico (parámetros VP), que nos indican si un agua de consumo podría tener un riesgo para la salud en el caso de sobrepasar unos determinados valores señalados en la legislación. Se acompañan algunas imágenes sobre el número de notificaciones realizadas al SINAC para alguno de los parámetros controlados.

- Los parámetros microbiológicos, nos indican sobre todo el riesgo de posible contaminación fecal y sus riesgos derivados (Figura 75).

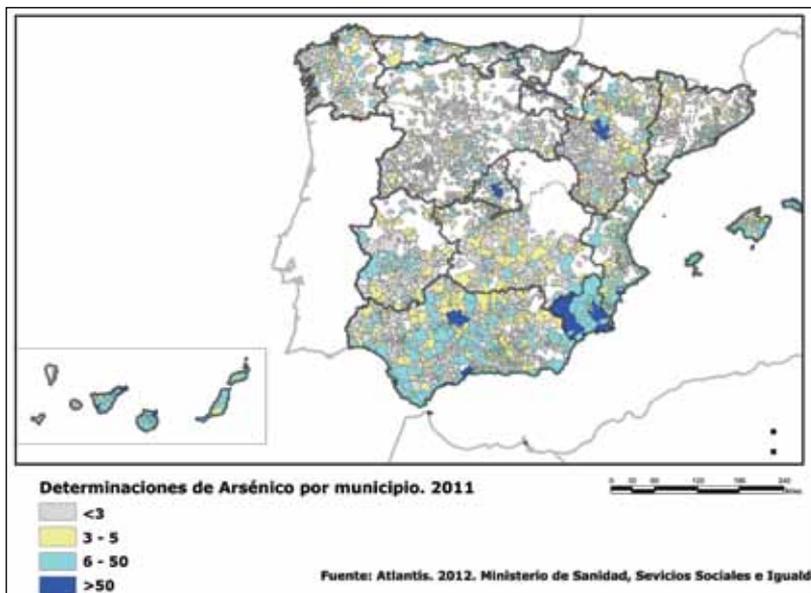
Figura 75. Número de determinaciones de *E.Coli* por municipio. SINAC. Año 2011.



Fuente: ATLANTIS. 2012

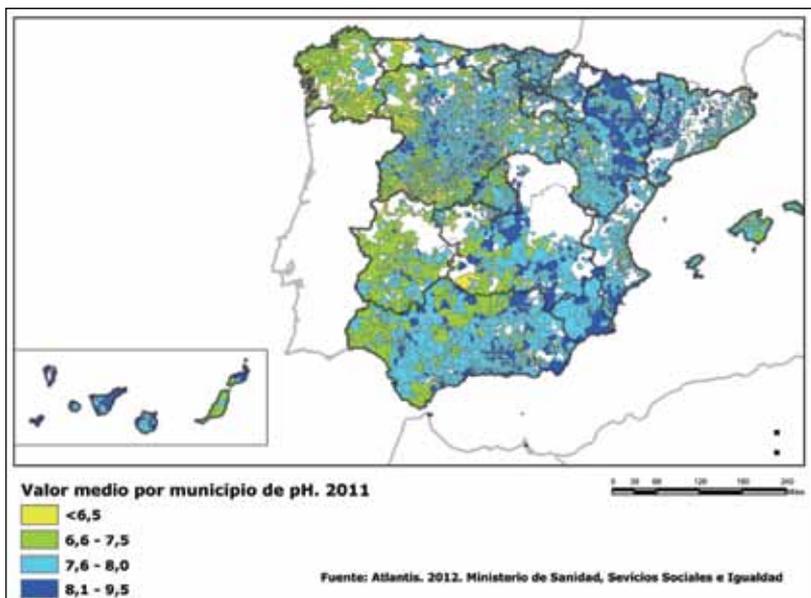
- Los parámetros químicos, nos indican una contaminación química industrial, agrícola, urbana, o por el propio tratamiento de potabilización realizado de forma inadecuada (Figura 76).
- Los parámetros indicadores, nos señalan la calidad general del agua, la eficacia del tratamiento de potabilización y la posible aceptación del consumidor. Se puede observar en el mapa la distribución territorial de los resultados del análisis de pH que se corresponde, como no podía ser de otro modo, con la distribución litológica que ha dado lugar a la diferenciación clásica entre la Iberia silíceo y la Iberia calcárea dependiendo de las rocas predominantes ácidas y básicas respectivamente (Figura 77).

Figura 76. Número de determinaciones de Arsénico por municipio. SINAC. Año 2011



Fuente: ATLANTIS. 2012

Figura 77. Valor medio de pH por municipio. SINAC. Año 2011



Fuente: ATLANTIS. 2012

- Los parámetros radiactivos, nos indican la posible contaminación natural o artificial por estos elementos.

Se han notificado en SINAC 392 parámetros distintos en el año 2.010; estos parámetros notificados no solo son los de la legislación vigente sino otros que los gestores y la administración sanitaria han creído conveniente controlar.

Conclusiones

El SINAC y su apéndice cartográfico, el ATLANTIS, se convierten así en potentes instrumentos de evaluación de la calidad sanitaria de las aguas de consumo público, con enormes posibilidades de crecimiento y desarrollo favorecidos por la gran cantidad de actores que intervienen en su gestión.

Referencias bibliográficas

1. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE núm. 45, de 21 febrero.
2. Orden SCO/1591/2005, de 30 de mayo, sobre el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo. BOE número 131, de 2 de junio.
3. SINAC. Sistema Nacional de Aguas de Consumo. Disponible en: <http://sinac.msc.es/> [citado el 15/05/2012]
4. ATLANTIS. Sistema de información geográfica de calidad sanitaria de las aguas de España. [citado el 15/05/2012] Disponible en: <https://atlantis.msc.es/atlantis/index.html>
5. Calidad del agua de consumo humano en España. Informe Técnico. Año 2010. Disponible en: <http://sinac.msc.es/sinac/ciudadano/CiudadanoMostrarResumenesAnualesAction.do> [último acceso 15/05/2012].

4.2.2. Territorio, salud ambiental y desigualdades sociales en “sitios contaminados”. Estratificación epidemiológica y expresiones territoriales de los riesgos. Argentina

Autoras: Diana E. de Pietri y Susana I. García

Ministerio de Salud de la Nación de Argentina.

Introducción

La salud ambiental trata distintos aspectos de la contaminación ambiental, de la vivienda saludable y de los servicios públicos en forma interrelacionada, ya que repercuten y convergen en la salud de uno o varios individuos. Asimismo el establecimiento de las asociaciones entre ciertos factores ambientales y los efectos perjudiciales para la salud plantea muchas dificultades. Sin embargo, la salud de los grupos poblacionales puede ser caracterizada a través del riesgo de morbilidad o mortalidad al analizar la distribución espacial de los principales factores determinantes. Por ello, la evaluación del impacto del ambiente sobre la salud requiere del desarrollo de un sistema que integre información sobre el estado del medio ambiente, el ecosistema y la población a nivel comunitario.

Bajo una perspectiva de riesgo, la influencia de las amenazas ambientales en la interacción sociedad-ambiente es diferente según el grupo poblacional. Las consecuencias negativas repercuten con más intensidad en los grupos carenciados. La mortalidad y morbilidad por causa de las infecciones gastrointestinales y respiratorias y la desnutrición, son mayores entre los grupos vulnerables. En este marco, la localización del lugar de residencia es una consideración muy importante en el momento de analizar la calidad de vida de un grupo poblacional, debido a la influencia que ejerce la adecuación de la posición en el territorio de diversos componentes de la vida social.

Una ocupación sustentable del territorio requiere articular aspectos de la organización de las actividades antrópicas con la dinámica del comportamiento ambiental de la región, prever los conflictos de la ocupación del territorio que por sus condiciones naturales pueden generar riesgo a la población y considerar los conflictos ambientales que surgen por la propia actividad del hombre que pudiera generar amenazas ambientales para el uso residencial del territorio.

La estratificación territorial es una metodología que facilita la tarea de dimensionar espacialmente los eventos a través de un proceso de agregación y desagregación de las áreas a evaluar a partir de variables seleccionadas para dichos territorios. La zonificación del territorio a partir de la estratificación epidemiológica de riesgo (EER) forma parte de un proceso de diagnóstico, intervención y evaluación que sirve de base tanto para una descripción situacional como para la toma de decisiones de las estrategias de intervención sanitaria.

Se presentan aquí tres abordajes a problemáticas sanitarias de origen ambiental, estudiadas desde el Ministerio de Salud de la Nación Argentina (MSN), con la aplicación

de modelos geográficos para la evaluación de la salud de comunidades expuestas a contaminantes químicos. Un paso crucial en el proceso de valoración de riesgo para la salud es evaluar la exposición de la población a sustancias peligrosas. En este marco los biomarcadores pueden ser utilizados como indicadores de la exposición a sustancias tóxicas (biomarcadores de exposición) o para evidenciar el efecto tóxico producido (biomarcadores de efecto).

Niveles de plombemias no deseadas en escolares residentes en un sitio contaminado

Se desarrolló un modelo espacial a partir de los niveles de plomo en sangre, para la evaluación de los factores de exposición al metal, de escolares de 6 a 8 años que habitan en una localidad identificada como sitio contaminado debido a la actividad de una fundición en el casco de la ciudad con acumulación a cielo abierto de sus residuos¹. Un estudio epidemiológico previo utilizando un análisis univariado no halló evidencias de que los factores de exposición estudiados tuvieran relación con los valores altos de plumbemia en los niños, si bien no se pudo descartar que algunos de ellos sí influyeran sobre esta variable.

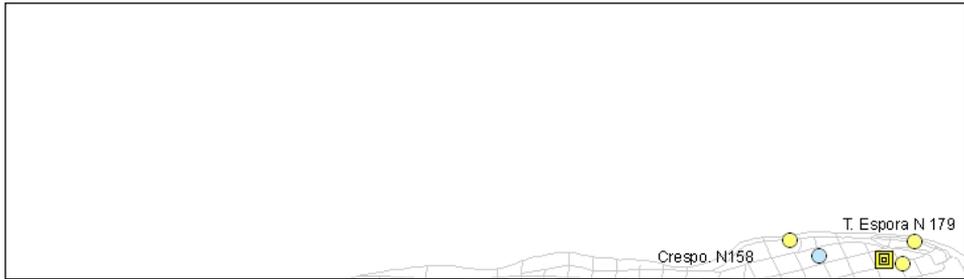
El análisis espacial contempló la interpretación satelital y el georreferenciamiento de los datos. Se tuvo en cuenta tanto la localización de las residencias sobre calles de tierra como la proximidad desde el domicilio de residencia o escuela a los puntos de exposición, considerados como “sitios fuente”. Se estimaron áreas de influencia y se realizaron superposiciones temáticas. La georreferenciación de las fuentes potenciales de plomo ambiental se realizó sobre una imagen ASTER. Para los datos de población y vivienda del último censo nacional, el amanzanado digital y ejes de calles de la ciudad se utilizaron los programas SIG-Epi, y ArcView 3.2.

Se generaron varios mapas temáticos base: 1) domicilios de los niños estudiados; 2) escuelas; 3) posibles fuentes de contaminación; 4) toma de muestras ambientales; 5) calles de asfalto. A fin de establecer patrones de mayor a menor nivel de plomo tanto en sangre como en el ambiente se aplicó un modelo espacial para estimar o predecir el valor del contaminante en un punto no muestreado basado en los valores conocidos de las muestras. Luego se realizó un proceso de interpolación y de suavización a fin de generar una superficie continua para realizar la superposición temática, obteniéndose mapas de isolinéas. La superposición de información a través de mapas tiene la ventaja de analizar diferentes contenidos temáticos con el objeto de establecer patrones espaciales ya sea en forma visual o analítica.

La distribución de los núcleos con plombemias elevadas en relación a la proximidad a las calles de tierra o sitios fuente se muestra en la Figura 78. El análisis de la asociación fue significativo (OR = 6,48 [IC95%: 1,29–32,36]). Es decir que residir o permanecer durante un tiempo prolongado (como en el caso de la asistencia al colegio) en una calle de tierra o en la vecindad de un sitio fuente genera un riesgo potencial para la salud estadísticamente significativo. Asimismo la mitad de las escuelas se ubican bajo algún área de influencia, observándose mayor abundancia de plombemias mayo-

res o iguales a 10 µg/dL (n=22) en estas escuelas que en el resto (ver Figura 78).

Figura 78. Distribución de los casos de plombemia en un sitio contaminado. Argentina.



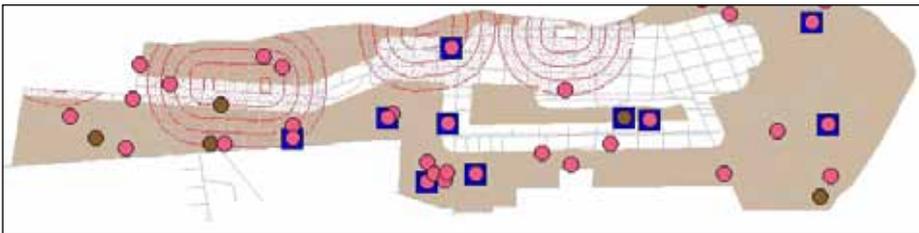
Fuente: De Pietri et al. 2008

Se aplicó un procedimiento de asociación exposición-efecto a través del SIG-Epi para obtener un conjunto de medidas y técnicas estadísticas que facilitasen detectar la posible asociación entre un factor de exposición espacial y un efecto bajo estudio. Se definieron como factores de exposición tanto las áreas de influencia generadas por la proximidad a un sitio fuente como las zonas con calles de tierra. Ambos fueron representados a través de mapas. En relación al mapa de efecto se utilizaron los domicilios de los niños con plombemias iguales o superiores a 10 µg/dL, consideradas como efecto no deseado.

La distribución de los domicilios de los niños con plombemias no deseadas no muestra una disposición espacial de sencilla interpretación (Figura 79) razón por la cual se generaron núcleos de plombemias (mediante procedimientos de interpolación) para su confrontación con los factores de exposición antes mencionados.

Las muestras de sangre de niños tomadas en las escuelas bajo área de influencia de alguna fuente tuvieron mayor abundancia de plombemias elevadas que las que se localizan en otra área. Las plombemias elevadas estuvieron asociadas con la proximidad de alguna fuente o con la localización de las residencias sobre calles de tierra. Los mayores valores de plomo en sangre se correspondieron con los mayores rangos de plomo ambiental.

Figura 79. Distribución de los casos de plombemia según los factores de exposición



Proximidad a la fuente de exposición (líneas rojas), calles de tierra (área de color marrón) y exposición por actividades y hábitos (cuadrado azul)

Fuente: De Pietri et al. 2008

El análisis espacial constituyó una metodología complementaria útil para el análisis y gestión de riesgo del sitio contaminado. El SIG facilitó la visualización simultánea de diferentes capas de información sobre factores relacionados con los problemas de salud estudiados asociados a un territorio específico, haciendo evidente por simple interpretación visual las relaciones y fenómenos, que no se habían hecho evidentes utilizando análisis epidemiológicos tradicionales. Los resultados obtenidos aportaron la evidencia científica necesaria para indicar la implementación de medidas de intervención directas sobre las fuentes de exposición y de educación para fomentar hábitos higiénico-dietéticos en la población.

Índice compuesto de salud para la evaluación de población expuesta a hidroarsenicismo

La presencia de arsénico en el agua subterránea de grandes extensiones territoriales constituye un problema de salud pública en la Argentina. La sensibilidad humana a los efectos tóxicos del arsénico varía, probablemente debido a factores genéticos, metabólicos, de la dieta, del estado de salud, del sexo y de la edad, entre otros. La situación de pobreza puede incrementar la susceptibilidad de la población a enfermar por exposiciones a uno o más tóxicos ambientales. Asimismo, un menor acceso a la atención médica oportuna hace que el estado de pobreza sea un factor de vulnerabilidad, incrementando el riesgo de mortalidad.

Se construyó un índice compuesto de salud (ICS) para medir el riesgo sanitario cuando se combina la exposición a un tóxico y la vulnerabilidad social y para evaluar las tasas de mortalidad por tumores relacionados con la exposición al arsénico en 47 departamentos de la provincia de Buenos Aires². Utilizando la herramienta del ICS provisto en el programa SIG-Epi, se integraron tres indicadores de riesgo de exposición al arsénico: 1) niveles de arsénico en agua de bebida; 2) porcentaje de hogares con necesidades básicas insatisfechas (%NBI), y 3) porcentaje de viviendas sin agua de red. El aporte de cada indicador a la definición del riesgo fue realizado en forma diferencial, asignando la mayor influencia al contenido de arsénico en el agua de bebida y a la condición de pobreza y en menor medida a la falta de provisión de agua por red.

Los departamentos se clasificaron como expuestos o no expuestos según el nivel de riesgo sanitario. Aunque se identificaron tres niveles de riesgo (bajo, medio y alto), la elevada población de la categoría de riesgo bajo sesga los resultados. Por este motivo, se definieron los departamentos incluidos en las categorías de riesgo medio y alto como zona de exposición (Figura 80).

Se calcularon las tasas de mortalidad por cada 100.000 habitantes a partir del número promedio de fallecidos mayores de 15 años según el sexo durante el período 2001– 2006 y el número de habitantes de esos grupos poblacionales de cada uno de los departamentos. Las poblaciones que residen en zonas de riesgo (expuestos) presentaron entre 3 y 4 veces más mortalidad para cada tipo de tumor asociado al arsénico, con respecto a la población que reside en zonas sin riesgo sanitario (Tabla 5).

La estratificación del territorio de Buenos Aires representó zonas de exposición suficientemente discrepantes como para establecer diferencias atribuibles a la exposición al arsénico en poblaciones con bajo nivel socioeconómico con base en la información existente. Se identificó una situación de riesgo sanitario por exposición al arsénico asociado a la falta de control de calidad en la potabilidad del agua en la provincia de Buenos Aires.

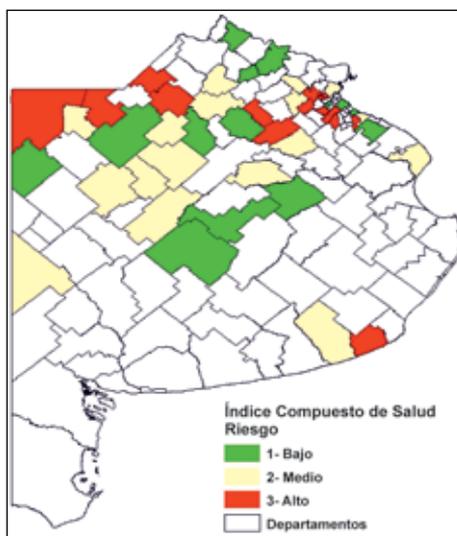
El ICS constituyó un indicador efectivo para la caracterización del riesgo sanitario. La exposición prolongada al arsénico puede derivar en la aparición de neoplasias malignas; sin embargo, la mortalidad por dichas enfermedades está asociada con el nivel de pobreza, que dificulta la aplicación de medidas preventivas para evitar la exposición y obstaculiza la atención médica oportuna en las etapas avanzadas de la enfermedad.

Tabla 5. Riesgo relativo de diversos tipos de cáncer en departamentos “expuestos”. Buenos Aires (Argentina)

Mortalidad por tumores		Riesgo relativo	IC (95%)	
Piel	Mujeres	3,9	2,9	5,2
	Varones	3,1	2,5	3,9
Vía respiratoria	Mujeres	3,2	2,9	3,5
	Varones	3,0	2,8	3,1
Vías urinarias	Mujeres	4,0	3,0	5,2
	Varones	3,8	3,3	4,4

Fuente: Navoni et al. 2012

Figura 80. Representación del índice compuesto de salud. Provincia de Buenos Aires por Departamentos



Fuente: Navoni et al. 2012

Modelo espacial en una cuenca urbana de Argentina

Los sitios destinados al uso residencial deben seguir ciertas pautas de habitabilidad. Estas siempre deben estar relacionadas con la salud y seguridad de la población que alojan y con la necesidad de satisfacer ciertas demandas de equipamiento. Cuando la condición de un sitio depende de múltiples factores, no es posible hablar de una solución única y por esto se busca listar una serie de indicadores que califiquen al territorio para definir su aptitud para el uso residencial.

El objetivo de este trabajo fue elaborar un modelo espacial que integrara los factores ambientales que constituyen una amenaza para la salud, de aplicación en la cuenca del río Matanza-Riachuelo (CMR), Argentina³.

La localización de sitios con aptitud para residir debe cumplir con el siguiente criterio de elegibilidad: "Territorios no inundables con disponibilidad de agua potable, luz y gas natural, eliminación de efluentes domiciliarios a través del sistema cloacal y recolección diaria de residuos, alejados de industrias, estaciones de servicio, basurales y cementerios".

Cada indicador mencionado es georreferenciado y unificado a valores de aptitud para poder establecer comparaciones mediante la herramienta "Fuzzy Sets"⁴. Con dicho procedimiento se obtiene un mapa con valores graduales que representan los distintos niveles de influencia del indicador en el territorio. La adecuabilidad de un sitio va a estar definida por las diferentes combinaciones de los factores. No obstante cada indicador presenta diferente contribución o importancia para definir la aptitud del sitio. La importancia relativa de cada factor se establece mediante la escala de SAATY⁵. Las variables georreferenciadas, transformadas y estandarizadas se unen a través de una suma lineal ponderada disponible en el programa IDRISI.

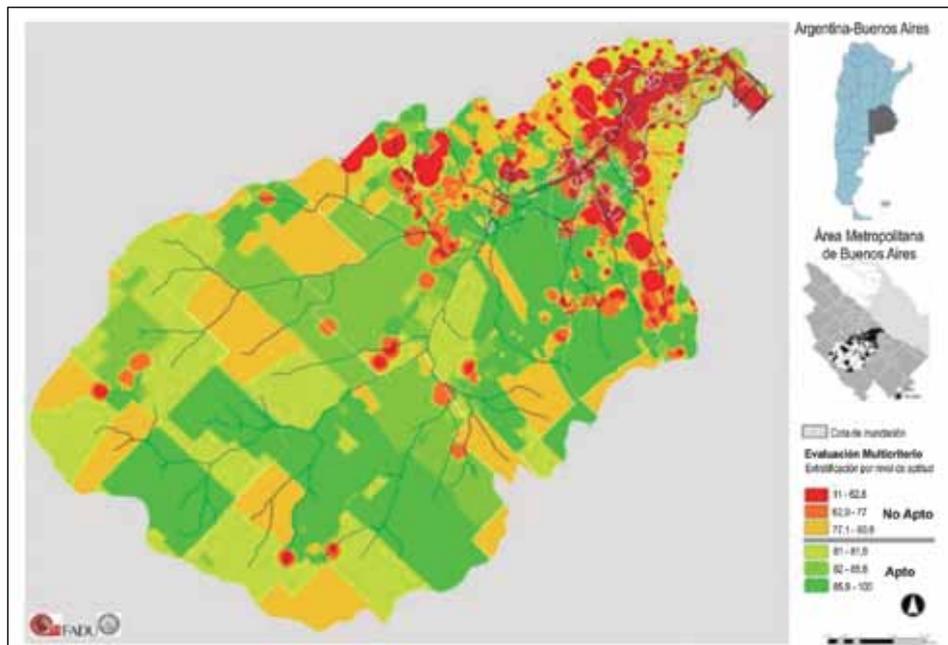
El mapa final (Figura 81) se usa para estratificar el territorio de la CMR en sitios aptos y no aptos para residir. Todos aquellos sitios con valores iguales o superiores al valor de la media geométrica de la CMR se consideran aptos, y viceversa. De esta manera, es posible medir el riesgo relativo de vivir en zonas no aptas (población expuesta a riesgo ambiental) en relación con las zonas aptas (población no expuesta a riesgo ambiental). La clasificación de la población en sana y enferma para completar la tabla de contingencia de "exposición a la enfermedad" se extrajo de las encuestas sobre factores ambientales de riesgo para la salud realizada en la CMR por el MSN durante el 2009.

La población entrevistada que habita en una zona "no apta" tuvo mayor prevalencia en relación con la población entrevistada de las zonas "aptas" de tumores malignos (OR = 2,64 [IC95%: 1,63-4,25]) y de enfermedades respiratorias (OR = 1,87 [IC95%: 1,52-2,30]). En los casos de diarrea informados, la diferencia entre zonas no fue significativa.

El modelo espacial generado a partir de diferentes tipos de datos provenientes de distintas fuentes vinculó a través del espacio indicadores de riesgo y facilitó una clasifi-

cación del territorio adecuada para caracterizar la prevalencia de eventos de salud vinculados al ambiente. La consideración de la cuenca como una unidad de análisis posibilita establecer un único protocolo que mida la magnitud del riesgo en forma integral y, de esta manera, establecer prioridades. La estratificación de la cuenca según la aptitud constituye una contribución para las autoridades responsables de atender aspectos tales como la exposición combinada y la interacción entre distintos contaminantes del medio ambiente.

Figura 81. Cuenca Matanza Riachuelo. Estratificación del territorio en sitios aptos y no aptos para residir



Fuente: De Pietri et al. 2011

Conclusiones

Un SIG ofrece más que el mapeo. Los datos de salud son examinados en forma más efectiva, desde la perspectiva del análisis espacial cuyo foco son las relaciones espaciales basadas en la proximidad y localización relativa, permitiendo extraer información adicional al análisis epidemiológico tradicional.

La aplicación de un SIG puede ayudar a un equipo de salud a reconocer y entender la heterogeneidad social y la variabilidad epidemiológica de la población bajo su responsabilidad.

La incorporación de información objetiva y subjetiva en un SIG puede resultar de gran ayuda para la planificación del uso del territorio, y el aumento de la efectividad en la toma de decisiones en materia de salud ambiental.

Los estilos de vida y el comportamiento de un grupo social pueden determinar una serie de patrones de exposición, concentrando o excluyendo un gran número de factores de riesgo, por lo que, con estrategias apropiadas de información y comunicación, un SIG puede ser de gran utilidad particularmente en regiones vulnerables.

Los SIG, entendidos como técnica para el análisis de la situación de salud y las condiciones de vida de una localidad, requieren mayor sistematización en el proceso de gestión de riesgo.

Referencias bibliográficas

1. De Pietri DE, García SI, Rico O. Modelos geo-espaciales para la vigilancia local de la salud. Rev Panam Salud Pública. 2008;23(6):394–402.
2. Navoni JA, De Pietri DE, Garcia SI, Villaamil Lepori EC. Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev Panam Salud Pública. 2012;31(1):1–8.
3. De Pietri DE, Dietrich, P, Mayo P, Carcagno A. Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina. Rev Panam Salud Pública. 2011;30(4):377–87.
4. Zadeh LA. Fuzzy sets. Information and Control 1965;8:338-353. Disponible en: <http://www.bisc.cs.berkeley.edu/Zadeh-1965.pdf>.
5. Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology 1977; 15: 234-81.

4.2.3. Prevalencia de síntomas de asma y alergia en los escolares de las poblaciones cercanas al complejo químico de Tarragona. España

Autores: Enric Rovira Ricart^{1,2} y Anna Cuadras Andreu^{1,2}

¹ Observatori de Salut i Medi Ambient del Camp de Tarragona. Agència de Salut Pública de Catalunya

² Institut d'Investigació Sanitària Pere Virgili

Este estudio ha contado con la colaboración de Judit Mariné, Xavier Aguilar y Leonardo de Esteban del Hospital Universitari de Tarragona Joan XXIII y de Jan-Paul Zock, Alícia Borràs y Jordi Sunyer del Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL)

Introducción

El complejo químico de Tarragona inició su actividad el año 1960 y adquiere mayor dimensión a partir del año 1976 cuando entra en funcionamiento una refinería de petróleo. En estos momentos es el mayor complejo químico del Sur de Europa y de la región mediterránea.

Incluido en los servicios de salud pública de la Región Sanitaria, el año 2006 se puso en funcionamiento el Observatorio de Salud y Medio Ambiente del Camp de Tarragona con el objetivo de evaluar los riesgos para la salud relacionados con el medio ambiente y estudiar el impacto de los agentes ambientales en la salud de la población.

Desde entonces se está realizando el seguimiento del riesgo para la salud de los contaminantes monitorizados por la red de vigilancia de la contaminación atmosférica del Departamento de Medio Ambiente. Además, entre 2008 y 2010 se han llevado a cabo dos campañas de determinación de compuestos orgánicos volátiles y de hidrocarburos aromáticos policíclicos en la atmosfera de los municipios cercanos a los polígonos industriales. Estas determinaciones se han complementado con la caracterización del riesgo de la exposición de la población a estos contaminantes^{1,2}.

También se ha analizado la evolución de la mortalidad por diferentes causas y de la incidencia de cáncer por sexo y localización tumoral.

Se ha demostrado que existen importantes variaciones geográficas en la prevalencia de asma y enfermedades alérgicas durante la infancia³ y que estas enfermedades están aumentando en los países desarrollados. Es conocido que los factores de tipo ambiental ejercen una influencia en el desarrollo del asma y las enfermedades alérgicas en la infancia⁴.

En la zona de Tarragona no se ha realizado ningún estudio para conocer la prevalencia de enfermedades respiratorias y de alergias en niños. Existen pocas publicaciones que hayan estudiado la frecuencia de estas enfermedades en población infantil de

zonas con industria petroquímica⁵⁻⁸.

El objetivo de este estudio es conocer la prevalencia de los síntomas de asma y de alergia en los escolares residentes en diferentes zonas alrededor del complejo químico de Tarragona con diferente exposición a la contaminación atmosférica.

El complejo petroquímico de Tarragona ocupa una superficie de 1.190 hectáreas y está dividido en dos áreas: el Polígono Norte, en el interior a 12 kilómetros de la costa, con una refinería de petróleo y otras industrias químicas y el Polígono Sur, situado paralelo a la costa cerca del mar, que incluye varias plantas químicas y petroquímicas. El año 2009, la producción total del complejo fue de 21 millones de toneladas (8,3 y 12,7 millones de toneladas de refino y de productos químicos, respectivamente).

El Puerto de Tarragona es una instalación eminentemente importadora, destacando los productos petrolíferos, los agroalimentarios y el carbón. En los últimos años se ha producido un progresivo aumento del movimiento de vehículos, productos siderúrgicos y contenedores.

En este territorio existen también dos plantas de incineración de residuos, una de residuos urbanos (145.000 toneladas por año) y otra de residuos industriales (30.000 toneladas por año).

Además, esta área geográfica está atravesada por importantes vías de circulación de vehículos (autopistas, autovías y carreteras nacionales).

En un radio de 3 kilómetros alrededor del complejo químico de Tarragona viven unas 85.000 personas (25.000 en el Polígono Norte y 60.000 en el Polígono Sur). En algunos puntos la distancia que existe entre los edificios y las industrias es inferior a 500 metros.

Metodología

La población de estudio fueron los alumnos de todos los centros públicos y privados de primer curso de educación primaria (6-7 años) de 3 comarcas (5.300 alumnos, 157 centros escolares) y de segundo curso de educación secundaria (13-14 años) de 2 comarcas (2.980 alumnos, 38 centros escolares).

Se utilizó el cuestionario central del *International Study of Asthma and Allergies in Childhood* (ISAAC)¹ sobre síntomas de asma, rinoconjuntivitis y eczema que contestaron los padres de los alumnos de primaria y los propios alumnos de secundaria.

El cuestionario contenía preguntas sobre el lugar de nacimiento, la nacionalidad de los padres, el número de años de residencia en el municipio, el nivel socioeconómico de la familia y el nivel de estudios de los padres. También recogía información sobre potenciales exposiciones en interiores como el tipo de cocina, la presencia de animales y de humo ambiental del tabaco en casa y sobre consumo de tabaco de los alumnos de 13-14 años.

Los alumnos de 13-14 años también contestaron el videocuestionario del estudio ISAAC con 5 preguntas sobre síntomas de asma.

Los alumnos de ambos grupos de edad se dividieron en 4 grupos según su lugar de residencia (Figura 82): los que vivían cerca del Polígono Norte (exposición industrial), cerca del Polígono Sur (exposición industrial), en el centro de la ciudad de Tarragona (exposición urbana) y en el resto de la comarca (zonas con menor exposición a la contaminación).

Figura 82. Zona de estudio. Complejo químico de Tarragona



Zona industrial (1 Polígono Norte, 2 Polígono Sur), zona urbana de la ciudad de Tarragona (3) y zona control (4).

Fuente: Rovira y Cuadras. 2012

Una muestra de centros de educación secundaria fue seleccionada para realizar una espirometría. Esta muestra (959 alumnos, 9 centros escolares) se estratificó por las mismas 4 zonas con diferentes niveles de exposición a la contaminación.

Una enfermera entrenada llevó a cabo la prueba de función respiratoria mediante un espirómetro portátil conectado con un software de adquisición de datos. La función pulmonar se midió de acuerdo con las guías de la *American Thoracic Society* y de la *European Respiratory Society*. Se obtuvieron las siguientes variables espirométricas: capacidad vital forzada (FVC), volumen espirado en el primer segundo (FEV_1), ratio FVC/FEV_1 , flujo máximo (PEF) y flujo intercuartil (FEF_{25-75}).

El Comité de Ética e Investigación Clínica del Hospital Universitari de Tarragona Joan XXIII aprobó el estudio y los padres dieron el consentimiento para la participación de sus hijos.

El trabajo de campo se realizó entre los meses de marzo y junio de 2010.

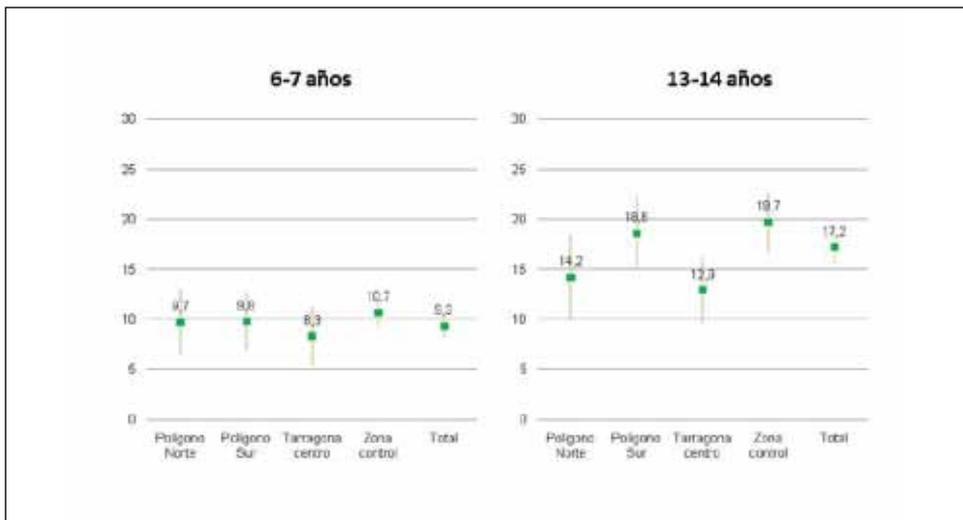
Resultados

Se consiguieron 3.287 cuestionarios válidos de niños de 6-7 años (participación del 62%), 2.182 de adolescentes de segundo curso de secundaria (participación del 73%) y 1.821 videocuestionarios.

Se pudieron hacer 764 espirometrías (participación del 80%), 647 de las cuales resultaron ser de buena calidad después de la validación realizada por un neumólogo (85% de las espirometrías).

La Figura 83 muestra la prevalencia de sibilantes el último año por grupo de edad y zona geográfica. La Figura 84 muestra uno de los indicadores de función pulmonar por zona geográfica.

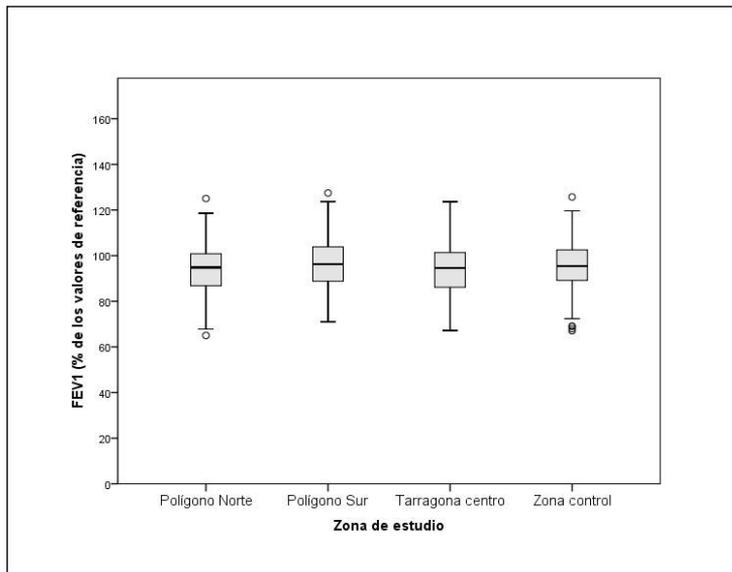
Figura 83. Prevalencia de sibilantes el último año por zona de estudio y grupo de edad. Complejo químico de Tarragona



Fuente: Rovira y Cuadras. 2012

Existen diferencias significativas en las características demográficas de los escolares de ambos grupos de edad de las diferentes zonas geográficas. Después de ajustar por estas características y por otras variables de confusión no se encontraron diferencias significativas en los principales síntomas de asma y alergia entre la zona industrial y la zona no industrial. Tampoco se encontraron diferencias significativas en los valores de función respiratoria entre las dos zonas.

Figura 84. FEV1 de los escolares residentes en las diferentes zonas de estudio. Complejo químico de Tarragona



FEV1 expresado como porcentaje de los valores de referencia. Las cajas muestran la mediana y los rangos intercuartiles y los círculos los valores extremos.

Fuente: Rovira y Cuadras. 2012

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que no existen importantes diferencias en la prevalencia de asma y alergia entre las zonas estudiadas alrededor del complejo químico de Tarragona. En estos momentos se dispone de una medida de base para evaluar futuras tendencias en la evolución de estas enfermedades.

Existen datos de prevalencia de síntomas de asma y alergia en grupos de edad similares de otras ciudades españolas⁹. Las prevalencias de síntomas de asma de estas ciudades son consistentes con las de Tarragona para los niños de 6-7 años pero no para los adolescentes de 13-14 años. Debe tenerse en cuenta que estos estudios fueron realizados durante la fase 3 del estudio ISAAC (años 2001 y 2002) y que las características demográficas de los escolares podrían no ser exactamente comparables.

El domicilio de los escolares se ha tomado como indicador de la exposición a la contaminación industrial o urbana. Es sabido que esta no es una medida demasiado precisa de la exposición a focos de contaminación atmosférica ya que no se tienen en cuenta otros ámbitos donde los escolares pasan una parte importante del día (la escuela o las actividades en el tiempo libre), o la meteorología (fundamentalmente la dirección y la velocidad de los vientos predominantes).

Sería de interés estudiar otros aspectos relacionados con la prevalencia de sínto-

mas de asma y alergia como, por ejemplo, las urgencias o las hospitalizaciones por enfermedades del aparato respiratorio. En este caso sería fundamental seguir utilizando el análisis por territorios e introducir las metodologías de los sistemas de información geográfica.

Referencias bibliográficas

1. Ramírez N, Cuadras A, Rovira E, Marcé RM, Borrull F. Risk assessment related to atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in gas and particle phases near industrial sites. *Environ Health Perspect* 2011;119:1110-6.
2. Ramírez N, Cuadras A, Rovira E, Borrull F, Marcé RM. Chronic risk assessment of exposure to volatile organic compounds in the atmosphere near the largest Mediterranean industrial site. *Env Int* 2012;39:200-9.
3. The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) Steering Committee. Worldwide variation in prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and atopic eczema: ISAAC. *Lancet* 1998;351:1225-32.
4. Tzivian L. Outdoor air pollution and asthma in children. *J Asthma* 2011;48:470-81.
5. Lopes de Moraes AC, Ignotti E, Netto PA, da Silva L, Castro H, de Souza S. Wheezing in children and adolescents living next to a petrochemical plant in Rio Grande do Norte, Brazil. *J Pediatr (Rio J)* 2010;86(4):337-44.
6. Rusconi F, Catelan D, Accetta G, Peluso M, Pistelli R, Barbone F, Di Felice E, Munnia A, Murgia P, Paladini L, Serci A, Biggeri A. Asthma symptoms, lung function, and markers of oxidative stress and inflammation in children exposed to oil refinery pollution. *J Asthma* 2011;48:84-90.
7. White N, teWanterNaude J, van der Walt A, Ravenscroft G, Roberts W, Ehrlich R. Meteorologically estimated exposure but not distance predicts asthma symptoms in schoolchildren in the environs of a petrochemical refinery: a cross-sectional study. *Environ Health* 2009;8:45.
8. Wichmann FA, Müller A, Busi LE, Cianni N, Massolo L, Schlink U, Porta A, Sly PD. Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution. *J Allergy Clin Immunol* 2009;123:632-8.
9. Carvajal-Urueña I, García-Marcos L, Busquets-Monge R, Morales Suárez-Varela M, García de Andoin N, Batlles-Garrido J, Blanco-Quirós A, López-Silvarrey A, García-Hernández G, Guillén-Grima F, González-Díaz C, Bellido-Blasco J. Variaciones geográficas en la prevalencia de síntomas de asma en los niños y adolescentes españoles. International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISSAC) fase III España. *Arch Bronconeumol* 2005;41(12):659-66.

4.2.4. El Plan Operativo de Intervención Industrial y sus efectos en la morbimortalidad de la ciudad de Cartagena. España

Autores: Lluís Cirera Suárez, José Jesús Guillén Pérez y Mónica Ballesta Ruiz

Dirección General de Salud Pública. Consejería de Sanidad y Política Social, Murcia

Introducción

La ciudad de Cartagena presentaba a finales de la década de los 70 unos valores de concentración en aire de dióxido de azufre (SO₂) que sobrepasaban la media mensual de 400 µg/m³, mientras que la media anual oscilaba entre los 200 y 300 µg/m³, con frecuentes situaciones críticas y algunos valores promedio diarios de 2.500 µg/m³. Los límites legales anuales admisibles eran de 150 µg/m³ para la concentración promedio anual y de 400 µg/m³ para la concentración promedio diaria. Ante esta situación, se declaró en 1979, a parte del municipio de Cartagena “Zona de Atmósfera Contaminada” y, por consiguiente, objeto de las medidas y beneficios que otorgaba la ley. Así se creó un Plan de Saneamiento Atmosférico que permitió la creación de una red de estaciones captadoras para vigilancia de la contaminación atmosférica. Dicha red fue integrada en 1987 en un centro municipal de control ininterrumpido de la contaminación, donde se recibían los valores de inmisión de los principales contaminantes, así como los parámetros de la meteorología local, para poder evaluar de forma continua e inmediata la calidad del aire, según un Plan Operativo de Intervención Industrial, que intervenía sobre las fábricas contaminantes sin menoscabo de la legislación vigente en materia de contaminación sobre valores límite y guía para SO₂ y partículas totales en suspensión (PTS)^{1,2}.

El desarrollo urbanístico no planificado propio de los años 70 del siglo XX, hizo que las fábricas y polígonos industriales acabasen próximos a las nuevas viviendas del casco urbano. Este hecho, unido a la escasa pluviometría, a las calmas y vientos flojos, junto a las características topográficas de las escarpadas montañas del litoral, hacen difícil la dispersión atmosférica o el drenaje aéreo por la dársena hacia el mar. Todo ello, hizo que aflorara el problema de la contaminación atmosférica industrial en Cartagena¹⁻³. Este trabajo es una síntesis de una tesis doctoral³.

El objetivo es evaluar el efecto a corto plazo del Plan Operativo de Intervención Industrial de las inmisiones atmosféricas urbanas de SO₂ y PTS en la morbimortalidad general, cardiovascular y respiratoria en la ciudad de Cartagena en el periodo anual de 1997 a 1999.

Material y métodos

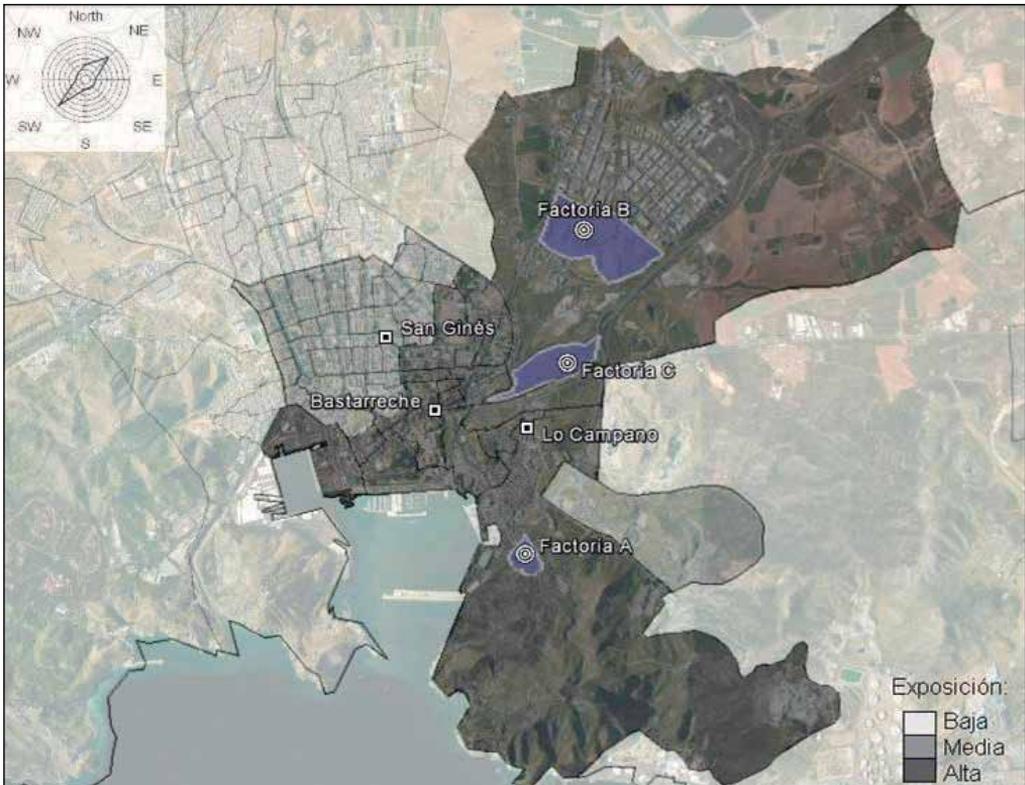
Se siguió una adaptación del protocolo EMECAS⁴. El periodo estudiado abarcó los años 1997 a 1999. Tres eran las grandes factorías ubicadas en el casco urbano (A, B y C). La factoría A, obtenía plomo produciendo óxidos de plomo y SO₂. La B, producía zinc y ácido sulfúrico con emisión de SO₂, gases de amoníaco y partículas de óxido de zinc. Y la C estaba dedicada a la producción de ácido sulfúrico y fosfato bicálcico emitiendo SO₂ y polvo de fosfato bicálcico (humos blancos). Las tres quedaron sin actividad a inicios del año 2001. Se excluyeron las industrias no urbanas del valle de Escombreras.

La contaminación atmosférica se midió en tres estaciones automáticas urbanas de la red del municipio (Figura 85), ubicadas para la vigilancia industrial. Los indicadores fueron las concentraciones promedio en 24 horas y máxima horaria diaria de PTS, SO₂, y dióxido de Nitrógeno (NO₂), además de la máxima octohoraria diaria de Ozono (O₃). La información meteorológica procedió del Instituto Nacional de Meteorología, y se recogieron las temperaturas máxima y mínima (°C), humedad relativa (%), y presión atmosférica (hectopascales), en el casco antiguo. La concentración diaria de granos/m³ de polen de la Red de la Universidad Politécnica de Cartagena. Se estableció un calendario de eventos singulares (festivos no-domingos, huelgas médicas y otros eventos).

La gripe (nº casos semanales / 7 días) y la mortalidad diaria provino de la administración sanitaria regional. La morbilidad hospitalaria procedió del diagnóstico principal de los ingresados por urgencias según el CMBD (Conjunto Mínimo Básico de Datos al alta médica) de los dos principales hospitales de la ciudad. De los libros de registro de urgencias se extrajo la frecuentación por asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) según protocolo. Se seleccionaron los códigos 1-799 de la Clasificación Internacional de Enfermedades (9ª revisión), para la mortalidad general no-traumática, los códigos 390–459 para las afecciones cardiovasculares, los códigos 460-519 para las afecciones respiratorias, los códigos 410–414, 427 y 428 para la enfermedad cardíaca, los códigos 410-414 para la enfermedad isquémica cardíaca, los códigos 490-492 y 494-496 para EPOC, y el código 493 para el asma.

La direcciones postales de las personas residentes a estudio se georreferenciaron en los polígonos cartográficos de las secciones censales municipales del año 2001 del INE (Figura 85). Se delimitaron tres zonas de exposición -zona baja, media y alta - con base en el criterio de expertos por agrupación de secciones y distritos. Así, la zona de exposición alta comprendió el distrito 1, las secciones 1-2, 4, 6-8, 10 y 12 del distrito 2, y las secciones 4-8 del distrito 5; la zona media, las secciones 3, 5 y 11 del distrito 2, las secciones 1-3 y 5-27 del distrito 3, el distrito 4, los códigos postales (CP) 30399 de la sección 2, 30392 de la sección 4, y las secciones 9 y 10 del distrito 5, y el CP 30380 de la sección 9 del distrito 6; y zona baja, el resto del seccionado (Figura 85). Se excluyeron por no estar expuestas: el área del código postal 30.350 de la sección 2, y la sección 1, ambas del distrito 5. Como sistema de información geográfico (SIG) se utilizó ArcGIS para la adscripción de la dirección postal al seccionado censal y a las zonas de riesgo ambiental.

Figura 85. Mapa de la ciudad de Cartagena (España)



Secciones censales de 2001, zonas de exposición a la contaminación industrial, ubicación de las fábricas contaminantes y de las estaciones captadoras (Bastarreche, Lo Campano y San Ginés).

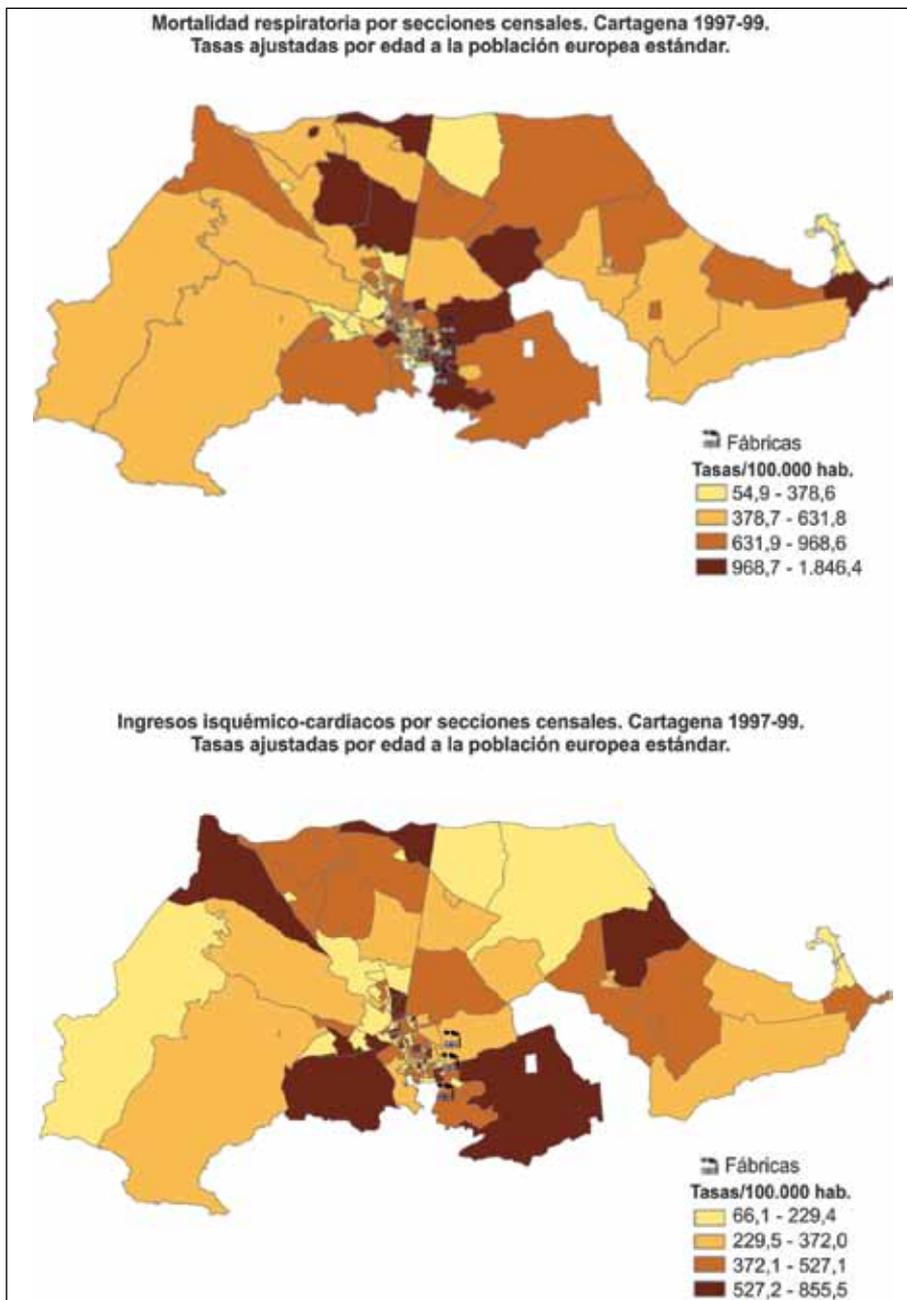
Fuente: Cirera et al. 2012

El Plan Operativo instaba a las empresas a que procedieran a disminuir la producción (se intervenía si la concentración atmosférica del SO_2 era de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 15 minutos, $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 3 horas o $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en cuatro horas, o si la concentración aérea de partículas en suspensión era de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante cuatro horas) o a interrumpir temporalmente la producción, si la situación no se corregía tras la disminución de producción en una hora, o si las condiciones meteorológicas impedían la resolución del episodio. Así, los tipos de intervención estudiados fueron: disminución, cese de la actividad industrial o cualquiera de las dos.

Se calcularon las tasas de la morbi-mortalidad por edad en relación a la población de las secciones censales y las zonas de riesgo del año 2001, que se ajustaron por el método directo a la población europea estándar por cien mil habitantes (Figura 86). Y mediante un diseño ecológico de series temporales de unidad de análisis el día, se estimó el riesgo relativo (RR) e intervalo de confianza al 95% (IC95%) mediante modelos aditivos generalizados (GAM, por sus siglas en inglés) de autorregresión de Poisson de las causas de morbi-mortalidad asociadas con: a) contaminación, b) contaminación y tipo de control, c) contaminación y zona residencial, d) contaminación, intervención y

zona residencial, y e) y posintervención ajustado por contaminantes y tipo de intervención.

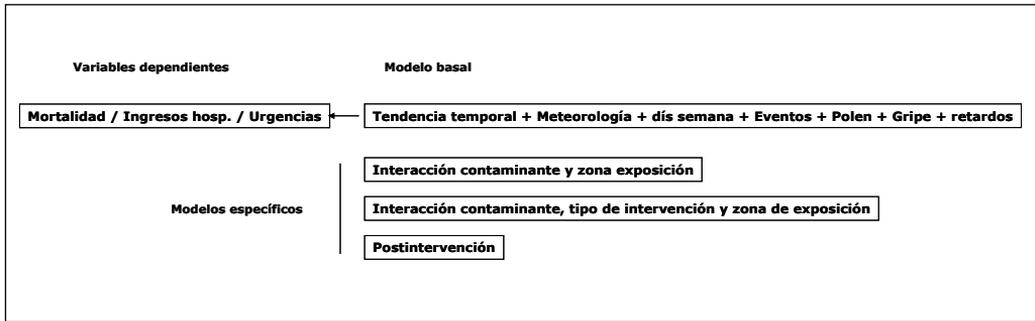
Figura 86. Mortalidad respiratoria e ingresos isquémico-cardiacos por secciones censales. Cartagena (España) 1997-1999.



Municipio de Cartagena

Fuente: Cirera et al. 2012

Figura 87. Modelo estadístico. Cartagena (España)



Fuente: Cirera et al. 2012

Resultados

Las tasas ajustadas por edad de mortalidad, ingresos y urgencias hospitalarias fueron mayores en la zona de alta exposición ambiental, con la excepción de los ingresos y urgencias de EPOC. Las tasas de la zona media mostraron cifras superiores o similares a la zona de baja exposición (Tabla 6).

Tabla 6. Tasas* de morbi-mortalidad según zonas residenciales de exposición a la polución industrial en base a la sección censal. Cartagena 1997-1999

Zona de Exposición	Mortalidad					
	Total	Total \geq 70	CV	Cardiaca	Isquemia Cardiaca	Resp
Alta	943	702	337	197	113	120
Media	778	568	297	148	86	87
Baja	761	474	286	154	90	95
Cartagena	788	526	296	158	92	96

Zona de Exposición	Ingresos hospitalarios por urgencias							Urgencias hospitalarias	
	CV	CV-R \geq 70	Cardiaca	Isquemia cardiaca	Resp	Asma	EPOC	Asma	EPOC
Alta	1.062	795	620	341	804	85	259	392	509
Media	1.000	673	598	405	590	61	220	234	535
Baja	1.007	592	585	361	648	52	260	216	643
Cartagena	1.011	637	592	370	649	59	248	241	316

Total no-traumática; Total \geq 70 años= total no traumática en 70 y más años; CV= cardiovascular; CV-R \geq 70 años = cardiovascular-respiratoria en \geq 70 años; EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

(*) Tasas ajustadas a la población europea estándar por cien mil habitantes.

Fuente: Cirera et al. 2012

En relación con la mortalidad, incrementos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones del promedio diario respecto al día anterior de SO_2 se asociaron significativamente a un

0,5% de mayor mortalidad diaria total no-traumática en todas las edades (IC95%: 0,2-0,9), y en 70 y más años (IC95%: 0,1-1,0); y específicamente, a un 0,7% de mayor la mortalidad cardiovascular (IC95%: 0,1-1,4), y a un 1,5% de mayor mortalidad respiratoria (IC95%: 0,2-2,8). La contaminación por PTS no se asoció a la mortalidad.

En cuanto a los ingresos hospitalarios, aumentos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de las concentraciones máximas horarias de PTS del día respecto al día anterior se asociaron con aumentos significativos del 0,1% en los ingresos cardiovasculares (IC95%: 0,1-0,2), cardiovascular-respiratorios en personas de 70 y más años (IC95%: 0,0-0,1), cardiacos (IC95%: 0,0-0,2), isquémico- cardiacos (IC95%: 0,0-0,2), y respiratorios (IC95%: 0,0-0,2); y con aumentos del 0,3% en ingresos asmáticos (IC95%: 0,1-0,6). Sin embargo, el mismo incremento en el promedio diario de PTS se asoció exclusivamente con los ingresos cardiovasculares (0,4% [IC95%: 0,2-0,5]) y los cardiacos (0,4% [IC95%: 0,2-0,7]). Sin embargo, el mismo incremento de las máximas horarias de SO_2 presentaron ascensos significativos del 0,2% en ingresos cardiovascular-respiratorios en 70 y más años y respiratorios (ambas con IC95%: 0,1-0,4). A la vez que el promedio diario de SO_2 siguió el mismo patrón que la máxima horaria con magnitudes algo superiores, y añadió la asociación con los ingresos por EPOC (RR=1,1% [IC95% 0,3-2,0]).

Respecto a las urgencias hospitalarias, subidas de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio de las máximas horarias de PTS se asociaron con incrementos del 0,2% en la frecuentación de urgencias por asma (IC95%: 0,1-0,3) y del 0,1% por EPOC (IC95%: 0,0-0,2). Es más, incrementos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de promedio diario de PTS se asociaron incrementos del 0,7% en las urgencias por EPOC (IC95%: 0,4-1,1).

Solo las intervenciones con disminución y/o cese de actividad evidenciaron asociación entre la zona de alta exposición y la mortalidad respiratoria, tanto para el promedio diario de SO_2 como en los indicadores de PTS. Asimismo los indicadores de PTS se asociaron de forma significativa con habitar en la zona próxima a las fábricas y los ingresos hospitalarios por isquemia cardiaca.

Conclusiones

El estudio permitió concluir que a corto plazo, las intervenciones estaban justificadas porque disminuían o normalizaban la polución por SO_2 y PTS^{3,5}, y que los aumentos de contaminación industrial se asociaban con mayor morbimortalidad diaria^{3,6}, pero no evidenció que las intervenciones disminuyeran la morbimortalidad³.

La participación en el proyecto de investigación⁴ permitió disponer de la tecnología para abordar con un desarrollo propio el contraste de la hipótesis: “las paradas o la disminución de la actividad fabril, instada por el centro municipal del Plan Operativo de Intervención Industrial, presenta efectos en salud, reduciendo la morbimortalidad”. Todo ello, con un diseño epidemiológico de menor coste y financiación externa.

El SIG permitió plasmar los indicadores de salud en la cartografía del seccionado censal y en las zonas de exposición en que se dividió la ciudad (Figura 85). EL SIG permitió visualizar la magnitud de los indicadores de salud en el entorno de las fábricas

urbanas, y orientar hacia la existencia de un posible gradiente espacial. En los años previos a 2005, ya se utilizó el seccionado censal para adscribir a las personas estudiadas según su dirección postal de residencia y delimitar zonas de riesgo por contaminación en la cartografía de la ciudad. Si bien es cierto que la zonificación definida no permitió establecer la existencia de gradiente territorial en relación con la salud.

Una limitación fue que no se realizó una comparación de la morbimortalidad entre zonas de exposición alta o media y zonas de exposición baja, del casco urbano frente al resto del extenso municipio (558 Km²), o modelos radiales de proximidad centrados en la zona de las fábricas. Asimismo los modelos estadísticos eran bastante complejos y no se sintetizaron en un índice resolutivo de evaluación rápida, tanto del efecto zona, como de la concentración de la contaminación del día posterior a la intervención.

Referencias bibliográficas

1. Guillén JJ, Guillén F, Medrano J, García-Marcos Alvarez L, Aguinaga I, Níguez JC. Afluencia inusual por asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica en urgencias hospitalarias y contaminación por SO₂ en Cartagena. *Rev Esp Salud Publica*. 1995;69(3-4):305-14.
2. Guillén JJ, Cirera L, García-Marcos L, Jiménez E, Barber X, Martínez MJ, et al. Estudio Multicéntrico Español sobre la Relación entre la Contaminación Atmosférica y la Mortalidad. *Rev Esp Salud Publica*. 1999;73(2):215-24.
3. Cirera L. Evaluación del plan operativo de Intervención industrial sobre las emisiones atmosféricas de las fábricas urbanas y sus efectos en la morbi-mortalidad de Cartagena. Tesis doctoral. [citado el 31 de marzo de 2012] Disponible en: www.murciasalud.es/recursos/ficheros/78789-tesis.pdf.
4. Ballester F, Sáez M, Pérez-Hoyos S, Iñiguez C, Gandarillas A, Tobías A, et al. The EMECAM project: a multicentre study on air pollution and mortality in Spain: combined results for particulates and for sulfur dioxide. *Occup Environ Med*. 2002 ;59(5):300-8.
5. Cirera L, Rodríguez M, Giménez J, Jiménez E, Saez M, Guillén JJ, et al. Effects of public health interventions on industrial emissions and ambient air in Cartagena, Spain. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2009;16(2):152-61.
6. Cirera L, García-Marcos L, Giménez J, Moreno-Grau S, Tobías A, Pérez-Fernández et al. Daily effects of air pollutants and pollen types on asthma and COPD hospital emergency visits in the industrial and Mediterranean Spanish city of Cartagena. *Allergol Immunopathol (Madrid)* 2011.

4.2.5. Utilización de un SIG en el estudio de riesgo, como base para la implementación de un sistema de vigilancia epidemiológica para la contaminación atmosférica. Regla, La Habana. Cuba

Autores: Antonio Wallo Vázquez, Osvaldo Cuesta Santos
Instituto de Meteorología. Regla (La Habana)

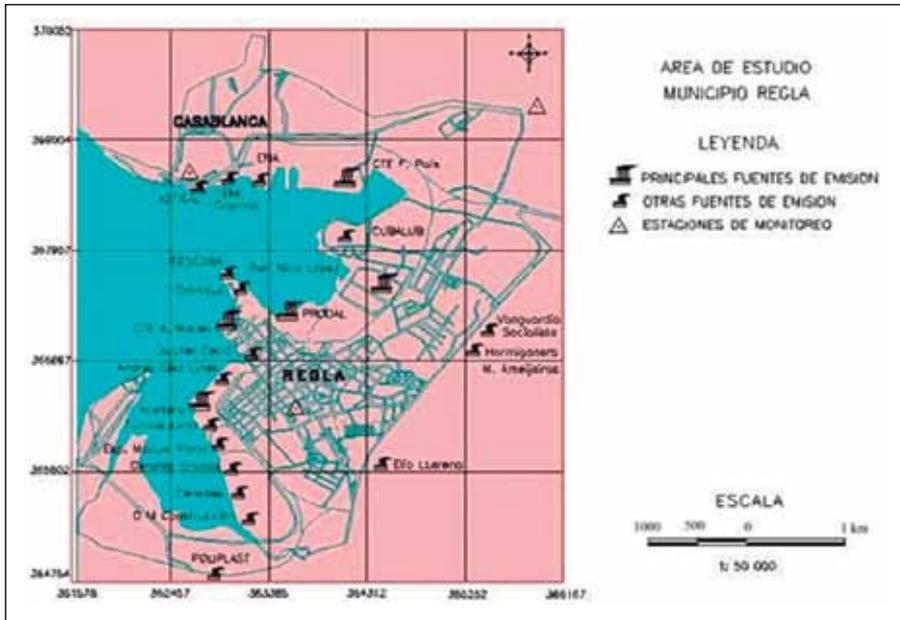
Introducción

El monitoreo de la calidad del aire y sus efectos en salud humana es la parte primordial de un sistema de vigilancia epidemiológica para la contaminación atmosférica. El mejor conocimiento de estos efectos posibilita la toma de importantes decisiones respecto a los niveles de exposición adecuados para la población y solo entonces se podrán tomar de forma coherente las decisiones respecto a los instrumentos para alcanzar los niveles deseados.

En todo momento debe reconocerse la complejidad técnica del tema. Una gran cantidad de factores actúa simultáneamente con la contaminación del aire para producir estos efectos, como son el lugar y el tiempo de exposición, las características del receptor (edad, sexo, educación, condiciones laborales, las condiciones nutricionales de cada individuo), por mencionar algunos. Otra cuestión importante son los factores de confusión entre los que se encuentra el hábito de fumar, la contaminación dentro de las casas (indoor) y las condiciones generales en otros ambientes. La distinta vulnerabilidad de los diferentes estratos etarios y la existencia de poblaciones de alto riesgo también suman más elementos que hacen más compleja la investigación. Por lo tanto para poder analizar en su conjunto los efectos de los contaminantes sobre la salud, es necesario tener en cuenta todos estos factores^{1,2}.

Para la realización de este trabajo se seleccionó como polígono experimental el Municipio Regla (Figura 88) con sus dos localidades: Regla y Casablanca, en la Ciudad de La Habana, Cuba. La selección de esta zona para el desarrollo de una investigación con fines de vigilancia ambiental se basó en la existencia de un asentamiento poblacional con fuentes de contaminación atmosférica de diferentes potencias; adecuada cobertura de salud, mediante el sistema del 'médico de la familia', aspecto que facilitaba la captación de la información espacial necesaria sobre asma bronquial. Además del reporte del asma bronquial como problema de salud en la zona, la disponibilidad de información histórica meteorológica y de calidad del aire, así como las facilidades para la organización de los experimentos y la captación de la información necesaria para la investigación. La misma se llevó a cabo por parte del Centro de Contaminación y Química Atmosférica del Instituto de Meteorología de La Habana, Cuba.

Figura 88. Regla. Polígono experimental



Fuente: Wallo y Cuesta. 2012

Metodología empleada para el análisis espacial y la representación cartográfica

Obtención y procesamiento de los datos referidos al asma bronquial (AB)

El criterio utilizado para la definición de los casos de asma bronquial fue la consideración de las entidades que aparecen como tales en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE), según las normativas de la Organización Mundial de la Salud³. Los datos de los asmáticos se tomaron de los registros de los consultorios de los médicos de familia. Se determinó el porcentaje en la población total de cada consultorio.

Cálculo de las concentraciones de los contaminantes

Los valores obtenidos de las mediciones y análisis químicos de los contaminantes estudiados se realizaron según las metodologías recomendadas por la Red de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM)⁴ y la Organización Mundial de la Salud⁵, y son las oficialmente empleadas por el Centro de Contaminación y Química Atmosférica, del Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Contaminantes medidos: NO₂, SO₂, Material Particulado. Concentraciones máximas admisibles (CMA): NO₂ (40 µg/m³), SO₂ (50 µg/m³), Material Particulado (100 µg/m³)⁶.

Índice de Calidad del Aire (ICA) en los asentamientos humanos

La NC 111: 2004⁷ determina el ICA para los asentamientos poblacionales, el cual se aplicó en este trabajo para las localidades de Regla y Casablanca, las que se encuentran dentro del polígono experimental. Este índice, está conformado por seis categorías: 1 (Buena); 2 (Aceptable); 3 (Deficiente), 4 (Mala); 5 (Pésima); 6 (Crítica)

El ICA se determina utilizando como criterio el valor resultante del cociente de las concentraciones medidas de cada uno de los contaminantes principales, tomando como denominador la CMA correspondientes al período de tiempo evaluado según la NC 39: 1999⁶. De acuerdo con el tipo de toxicidad específica de cada contaminante principal, así como las posibilidades de monitoreo, de acuerdo a los dispositivos y métodos analíticos normalizados, se establece la evaluación del ICA de cada contaminante para un período de tiempo dado. Para 24 horas (diarios), el ICA equivale al cociente de la concentración promedio diaria determinada para cada contaminante principal y la CMA promedio diaria correspondiente. A continuación se muestra el valor de cada índice de acuerdo a estos cálculos:

- **Índice de valor 0:** Corresponde a un nivel de concentración inferior al límite de detección del método analítico normalizado.
- **Índice de valor 100:** Corresponde al valor (100%) de la CMA del contaminante principal evaluado según la NC 39: 1999⁶.
- **Índice de valor 200:** Corresponde a un valor de concentración real que supera en 2 veces la CMA del contaminante principal evaluado según la NC. 39: 1999⁶.
- **Índice de valor 300:** Corresponde a un valor de concentración real que supera en 3 veces la CMA del contaminante principal evaluado según la NC 39: 1999⁶.
- **Índice de valor 500:** Corresponde a un valor de concentración real que supera en 5 veces la CMA del contaminante principal evaluado según la NC 39: 1999⁶.

Sistema de información geográfica

Para la confección de los mapas se utilizó el SPRING⁸, un sistema de información geográfica que cumple con los requerimientos necesarios para el procesamiento espacial de toda la información procesada en este resultado. El mismo tiene las ventajas de permitir trabajar en un mismo módulo tanto el formato ráster como el vectorial y la realización de isolíneas, entre otras. La escala de trabajo usada en los mapas fue 1: 50.000.

Técnica AHP - Proceso Analítico Jerárquico

Cuando se tienen diferentes factores que contribuyen a una decisión es necesario determinar una contribución relativa para cada uno, para esto existe una técnica basada en la comparación lógica de dos parámetros. Mediante este procedimiento los factores que influyen en la toma de decisión son comparados “dos a dos” en un criterio de importancia relativa conforme a una escala predefinida en SPRING.

Determinación de riesgos para la salud humana (asma bronquial) asociados a la calidad del aire

Para el análisis de los efectos contaminación-salud fue necesario utilizar los elementos fundamentales de la teoría de evaluación y manejo de riesgos^{9,10, 11,12,13,14} y adaptarla a este estudio, para el análisis espacial y cartografía de la información. A continuación se muestran las definiciones de peligro, vulnerabilidad y riesgo utilizados.

- **Peligro:** Probabilidad de ocurrencia de concentraciones de contaminantes atmosféricos (calidad del aire) como fenómeno de afectación a la salud humana y se determina por la frecuencia de ocurrencia y la intensidad del fenómeno.
- **Vulnerabilidad:** Medida que indica la propensión de determinada población a los daños que pueden causar las concentraciones de contaminantes atmosféricos (calidad del aire).
- **Riesgo:** La conjunción del peligro y la vulnerabilidad determina el riesgo y señala la medida de los daños esperados a que está sujeta la población en un área o zona geográfica ante los impactos de la calidad del aire.

En la Tabla 7 se muestra el riesgo asociado a la influencia de la calidad del aire sobre la salud humana utilizado en el presente estudio.

Tabla 7. Riesgo asociado a la influencia de la calidad del aire sobre la salud

Riesgo	ICA (categorías)	% de asma bronquial
Bajo	Buena (0-79)	< 8%
Medio	Aceptable (80-99)	8%-11%
Alto	Deficiente (100-199)	>11%

Fuente: Wallo y Cuesta. 2012

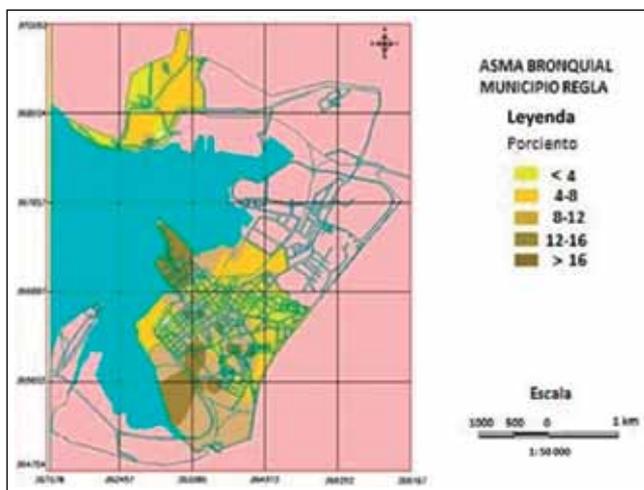
Resultados

En la Figura 89 se muestra que la mayor ocurrencia de asmáticos en Regla se situó hacia la zona del embarcadero (saliente hacia la bahía) situándose alrededor del 16%, el máximo que se localizó hacia el centro y suroeste de la localidad se encuentra entre 12 y 16%. En Casablanca es de destacar que los máximos fueron ubicados en la calle principal aunque en un área muy pequeña, situándose entre 12% y 16%, la mayor parte del pueblo se encontraba en el rango entre 8% y 12%. De forma general los porcentajes más elevados se dieron en la zona urbana de Regla con valores superiores a 16%. Casablanca siempre se comportó por debajo de Regla.

En el caso del ICA total (Figura 90) se observó que los valores de este índice se situan entre 80 y 100 dentro de la categoría de calidad del aire aceptable en la localidad de Regla. En Casablanca se mantuvo dentro del rango de 0-40 en la categoría de calidad del aire buena. Como puede apreciarse de la representación espacial de ICA,

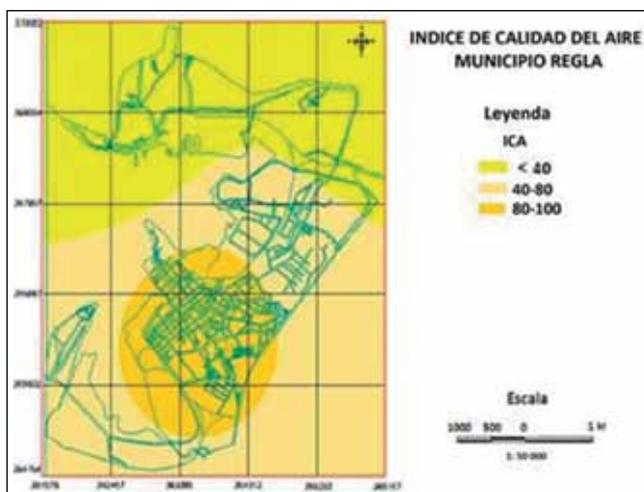
aunque el asentamiento de Regla presentó una calidad del aire aceptable, esta está un poco más comprometida que en Casablanca, por lo que la población que habita en este asentamiento humano y en especial los asmáticos están un poco más expuestos a sus efectos.

Figura 89. Regla. Porcentaje de asma bronquial por consultorios médicos



Fuente: Wallo y Cuesta. 2012

Figura 90. Regla. Aplicación del Índice de Calidad del Aire

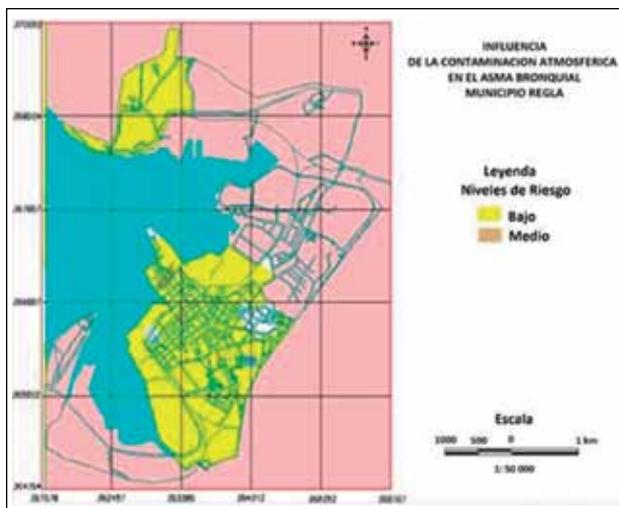


Fuente: Wallo y Cuesta. 2012

Del análisis del riesgo (Figura 91) podemos plantear que se observaron pequeñas zonas de riesgo medio hacia la parte central urbana de la localidad del Regla, la más importante en el área que se encuentra hacia el saliente a la bahía, que vinieron dadas por valores del Índice de Calidad del Aire entre 80 y 100 y porcentajes de asma por encima de 12%. El resto del municipio se encontraba dentro del nivel bajo, dado por los

valores del Índice de Calidad del Aire entre 80 y 100 y menores aún entre 40 y 80 para Regla, estando por debajo de 40 para Casablanca.

Figura 91. Regla. Riesgo contaminación atmosférica- asma bronquial



Fuente: Wallo y Cuesta. 2012

La experiencia en otros países recomienda establecer un Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la Contaminación Atmosférica, capaz de generar la información necesaria para definir la relación entre la concentración de contaminantes y los daños a la salud y los diferentes niveles de alerta. En general se observa en los múltiples estudios realizados la dificultad metodológica para obtener resultados confiables en cuanto a las relaciones de la incidencia en la salud de las personas.

Especial atención merece el diseño de este sistema, pues debe tener una fuerte componente multisectorial en los que se involucran los que contribuyen a la contaminación atmosférica, y los riesgos que se generan a la población. Por lo tanto este sistema de vigilancia debe ser promovido por las instituciones del sector de la salud, pero con la participación de otros sectores e instituciones, intentando obtener un activo trabajo entre todos. Debe involucrar al menos a la industria, el transporte y las autoridades ambientales responsabilizadas con el monitoreo de los contaminantes atmosféricos.

Por lo tanto se demanda la necesidad de captar y procesar la información generada en múltiples lugares, siendo el punto de partida las estadísticas médicas de atención primaria, adecuándolas para estos fines ¹⁵.

Conclusiones

Los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta eficaz a ser utilizada en estudios que relacionen la influencia de la contaminación atmosférica sobre la salud humana y la vigilancia de la misma.

Los mayores porcentajes de asma en el municipio se localizan hacia el saliente de la bahía y en la zona central y suroeste de la localidad de Regla.

El Índice de Calidad del Aire muestra valores dentro de las categorías buena y aceptable en todo el municipio.

Existe un nivel de riesgo medio de que se produzcan crisis de asma bronquial por efectos de la contaminación atmosférica solamente en una pequeña proporción de la población de la localidad de Regla hacia el centro de la misma y el saliente hacia la bahía.

Se recomienda continuar el sistema de monitoreo en el municipio y extenderlo a otros con el fin de poder emitir pronósticos sobre la situación de la contaminación atmosférica y el mejoramiento de la vigilancia ambiental en el territorio.

Referencias bibliográficas

1. Cuesta O, Sánchez P, López C, Pérez R, Marín M, Biart R, y Villarroel J. Estado de la Contaminación Atmosférica en Cuba. En GEO CUBA. Evaluación del medio ambiente cubano. PNUMA. La Habana. 2009.
2. Cuesta O, Wallo A, Montes de Oca L, Pierra A, Tricio V. Calidad del aire en zonas urbanas de Cuba. CONAMA 11. Congreso de Medio Ambiente, España 2010. Disponible en: <http://www.conama10.es/web/index.php>
3. Organización Mundial de la Salud (OMS). Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10). Ginebra. 2003
4. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas climatológicas. OMM N° 100. Ginebra. 1990.
5. World Health Organization (WHO). Guidelines for Air Quality. Geneva, Switzerland. December, 1997.
6. Norma Cubana (NC 39:1999). Requisitos higiénico sanitarios. CITMA-INN-MEP, La Habana, Cuba. 1999
7. Norma Cubana (NC 111:2004). Calidad del Aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. Oficina Nacional de Normalización, La Habana. 2004
8. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics. 1996; 20 (3): 395-403.
9. Munn, RE : Environmental impact assessment: principles and procedures, ICSU-SCOPE Report 5, UNEP, Environment Canada and UNESCO, Toronto, Canada. 1975
10. Reed SB. Introducción a las amenazas. Programa de entrenamiento para el manejo de desastres. UNDP DHA. 1994.
11. Gómez J. Análisis de riesgo: una poderosa para optimizar los esfuerzos en la gestión del medio ambiente. Industry and environment UNEP April - September, 1995
12. López C, González M, Collazo A, Wallo A, Morejón E, Moreno E. Aplicación de la teoría de evaluación y manejo de riesgos a la deposición atmosférica de acidificantes. Revista cubana de Meteorología. 1999; 6 (1)
13. McMichael et al. ed. Climate Change and Human Health Risks and Responses. Geneva:

World Health Organization (WHO) .2003.

14. Wallo A, Cuesta O. Análisis espacial de riesgo relacionado con la influencia de la calidad del aire sobre el asma bronquial en el municipio de Regla, mediante la aplicación de SIG. *Revista Cubana de Meteorología*. 2006; 13(2): 11–19.
15. Cuesta O, Wallo A, Collazo A, Arriba A, González M, Labrador R et al. Métodos para el pronóstico de asma bronquial e infecciones respiratorias agudas y su contribución al sistema de vigilancia epidemiológica en la ribera este de la bahía de La Habana. 2001. Informe Científico Técnico. Instituto de Meteorología.

4.2.6. Uso de herramientas de SIG y teledetección en el análisis de clima y salud: Un ejemplo de malaria en la cuenca del río Purus. Brasil

Autores: Helen da Costa Gurgel^a y Christovam Barcellos^b

a.- Departamento de Geografía, Universidade de Brasília (GEA/UnB)

Correo electrónico: helengurgel@unb.br

b.- Departamento de Informações em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz (DIS/CICT/FIOCRUZ)

Correo electrónico: xris@fiocruz.br

Introducción

El clima y el tiempo afectan la salud humana de diferentes modos. Los eventos extremos como huracanes, tempestades e inundaciones pueden afectar, herir y matar a miles de personas cada año, además de comprometer el abastecimiento de agua y alimentos. Otros procesos climáticos que afectan de forma importante la salud son más lentos e indirectos y difíciles de detectar y medir sus impactos. Las sequías provocan hambre y desnutrición, además de agudizar los problemas de salud, como los asociados al uso de aguas contaminadas¹.

Las enfermedades transmitidas por vectores constituyen todavía una importante causa de morbilidad y mortalidad en Brasil y otros países en la zona tropical. El ciclo de vida de los vectores, así como de los reservorios que participan en la cadena de transmisión de enfermedades, está fuertemente vinculado a la dinámica ambiental de los ecosistemas donde viven. El dengue está considerado como la principal enfermedad reemergente de los países tropicales y subtropicales, y una amenaza para los países de clima templado. La malaria permanece como uno de los más importantes problemas de salud pública en el África subsahariana, en el sureste asiático y los países amazónicos de América del Sur. La leishmaniasis, cutánea o visceral, ha ampliado su ocurrencia además de su distribución geográfica. Otras enfermedades, como la fiebre amarilla, filariosis, fiebre del oeste del Nilo, enfermedad de Lyme, y otras transmitidas por insectos, ganan creciente relevancia sanitaria en diferentes continentes. Los cambios climáticos globales vienen generando preocupación sobre la posible expansión de las áreas actuales de transmisión de estas enfermedades transmitidas por insectos.

Los impactos del cambio climático sobre la salud pueden ser minimizados mediante medidas preventivas como, por ejemplo, el perfeccionamiento de los sistemas de vigilancia, por medio de alertas para emergencia o reemergencia de enfermedades, el control de vectores, la información al público de cómo protegerse, y la decisión de vacunar y tratar oportunamente a la población de riesgo. Otra clase de medidas deben tener como objetivos minimizar los riesgos para la salud mediante la identificación de las condiciones ambientales, especialmente las climatológicas, favorables a la incidencia de una enfermedad, o los eventos climáticos que provocan impactos relevantes para la salud².

En estos casos, las herramientas de SIG y teledetección se presentan como importantes alternativas tecnológicas para organizar y producir informaciones cualificadas sobre la dinámica de las variables climático-ambientales, y para desarrollar y aplicar modelos integrados de caracterización de riesgo.

La teledetección ha cobrado un papel destacado como medio para obtención de datos, en especial en países con extensos territorios, gran diversidad de fauna y flora y dificultades de acceso y monitorización de regiones remotas, como es el caso de Brasil. Algunos sensores satelitales, de media y alta resolución espacial, aunque de baja resolución temporal, son usados en estudios sobre cambios de uso y cobertura del suelo como el LANDSAT, CBERS, SPOT, IKONOS. Por otra parte, los sensores de alta resolución temporal son más aptos para la monitorización de la dinámica meteorológica.

Los datos climáticos se pueden obtener por medidas locales, a partir de estaciones meteorológicas o medidas derivadas de imágenes satelitales. Los datos generados por teledetección pueden ser utilizados para producir índices que son aproximaciones para variables meteorológicas como, por ejemplo, el índice de temperatura promedio de la superficie de la tierra (LST) y del status de la vegetación (NDVI). Los sensores AVHRR³ de satélites NOAA, por ejemplo, ofrecen estimaciones diarias de LST y NDVI desde el año 1981 y los datos se encuentran disponibles para el análisis. Otro índice, el *cold cloud duration* (CCD), obtenido por sensores orbitales meteorológicos, como el GOES y Meteosat, es utilizado como variable indicadora de la intensidad de precipitación.

Con base en estos datos se pueden construir series temporales que relacionen la incidencia de malaria con variables ambientales para diferentes niveles de agregación, lo que permite verificar tendencias estacionales y anomalías. Los gráficos permiten mostrar patrones cíclicos inherentes a la enfermedad, así como indicar factores que influyen en esta relación, como el incremento de casos, el efecto de acciones de control y procesos ambientales⁴. Sin embargo, es necesario un esfuerzo para compatibilizar la escala espacial y temporal de análisis de acuerdo con los datos climáticos, ambientales y de salud.

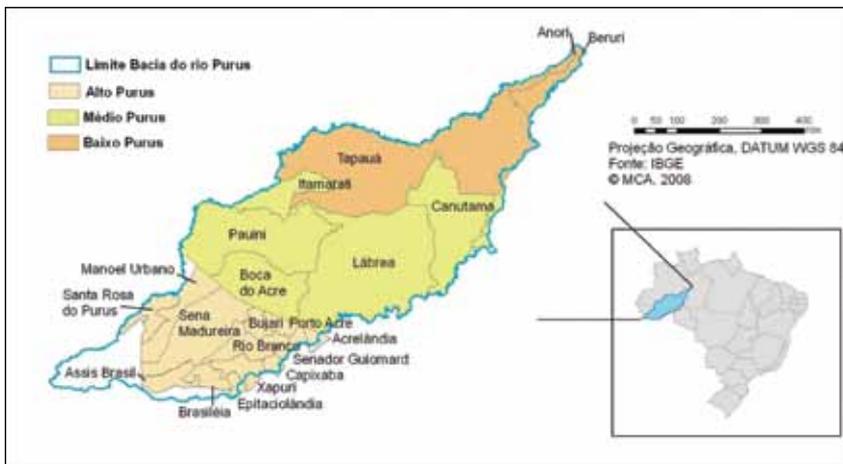
Si por una parte, los datos climáticos, ambientales, sociodemográficos y de salud se encuentran cada día más disponibles, por otra, se impone como reto el desarrollo de herramientas que permitan su integración y análisis. Una de estas iniciativas es el Observatorio de Clima y Salud, un proyecto apoyado por el Ministerio de Salud de Brasil y la Organización Panamericana de Salud (OPS/OMS). El proyecto se desarrolla en la Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) y en el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), y tiene como objetivo principal desarrollar una herramienta que permita el acceso a diversos tipos de datos climáticos, ambientales y de salud de manera sencilla para el usuario, y que posibilite el análisis por parte de técnicos de salud, investigadores y ciudadanos. El sitio actúa como mediador entre las diversas instituciones productoras y los usuarios de datos, noticias e informes técnicos.

A continuación se demuestra cómo la recolección de datos climáticos derivados de sensores orbitales, analizados por medio de SIG, pueden sustentar estudios sobre

la dinámica de clima y salud, usando como ejemplo la correlación entre malaria y el índice de vegetación (NDVI) en la cuenca del río Purus, amazonía brasileña (Figura 92).

La malaria es una de las principales enfermedades desatendidas en el mundo. En las últimas décadas las acciones de control lograron la interrupción de su transmisión en varias partes del mundo, pero en la amazonía brasileña, como otras regiones tropicales permanece con alta incidencia y mortalidad⁵. La cuenca del río Purus, en la amazonía occidental, es una de estas regiones endémicas y posee tasas altas de infestación por el mosquito vector e incidencia de la enfermedad, aunque distribuida de manera muy heterogénea. La cuenca está poco alterada ambientalmente comparada con otras regiones de amazonía donde es considerable la urbanización, deforestación y construcción de carreteras⁶.

Figura 92. Localización de la cuenca del río Purus (Brasil)



Fuente: SIVEP-Malaria y GIMMS/GLCF. 2009

Las fuentes de información del estudio fueron constituidas por:

- 1) El registro de casos de malaria entre 2003 y 2006, según el Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica – Notificação de Casos de Malária (SIVEP-Malária), coordinado por la Secretaría de Vigilancia en Salud, del Ministerio de la Salud (SVS/MS) de Brasil.
- 2) Datos de precipitación de 20 estaciones pluviométricas obtenidos del Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB), coordinado por la Agencia Nacional de Aguas (ANA). Para la interpolación de datos puntuales para obtención de un mapa anual fue utilizado el método de polígonos de Thiessen⁷.
- 3) Datos de NDVI se obtuvieron por medio del Global Inventory Modeling and Mapping Systems (GIMMS), según el Global Land Cover Facility (GLFC) para el período de 1981 a 2006. Para la composición de la serie de 25 años para índices mensuales de NDVI, con datos de la herramienta AVHRR de los satélites NOAA, fue utilizado el método de Composición por el Valor Máximo (Maximum Value

Compositing).

Actualmente, todos los datos utilizados en este estudio están disponibles en el Observatorio de Clima y Salud.

La Figura 93 muestra el promedio mensual de NDVI en la cuenca del río Purus, entre enero de 1981 y diciembre de 2006. Se observa la gran diversidad de biomasa verde existente (la escala de colores aplicada a la imagen varía del negro, para menor cantidad de verde presente en la vegetación, al rojo, para mayor cantidad).

El período con mayor actividad de la vegetación ocurre a mediados de julio, que corresponde al inicio de la estación de sequías, con un retardo de dos meses respecto a la estación de lluvias⁸. Los gráficos sobre la relación entre NDVI y malaria (Figura 94) muestran que las variaciones estacionales de malaria siguen ritmos distintos entre las tres regiones de la cuenca, con un incremento de casos coincidente con la caída de los valores de NDVI, en el período de sequía en la cuenca. El desfase entre máximos de malaria y NDVI se debe en parte al período de incubación de la enfermedad, de quince días a un mes, y la creación de espacios para proliferación del mosquito a lo largo del periodo de baja de los niveles de ríos y canales⁸.

Figura 93. Promedio mensual de NDVI en la cuenca del río Purus entre enero de 1981 y diciembre de 2006

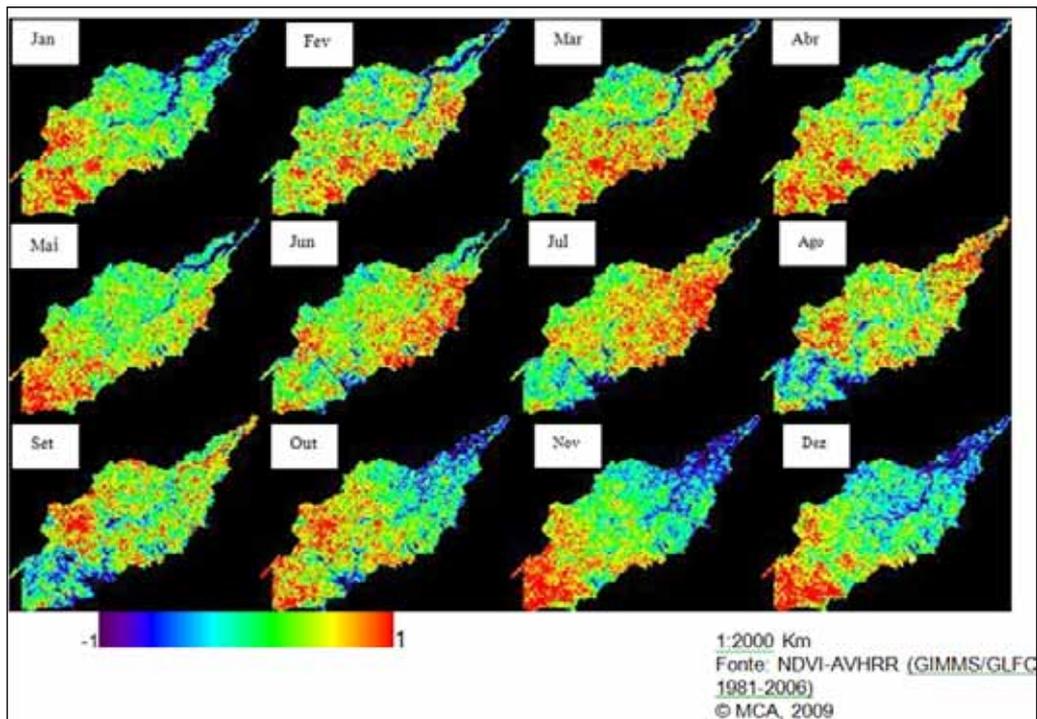
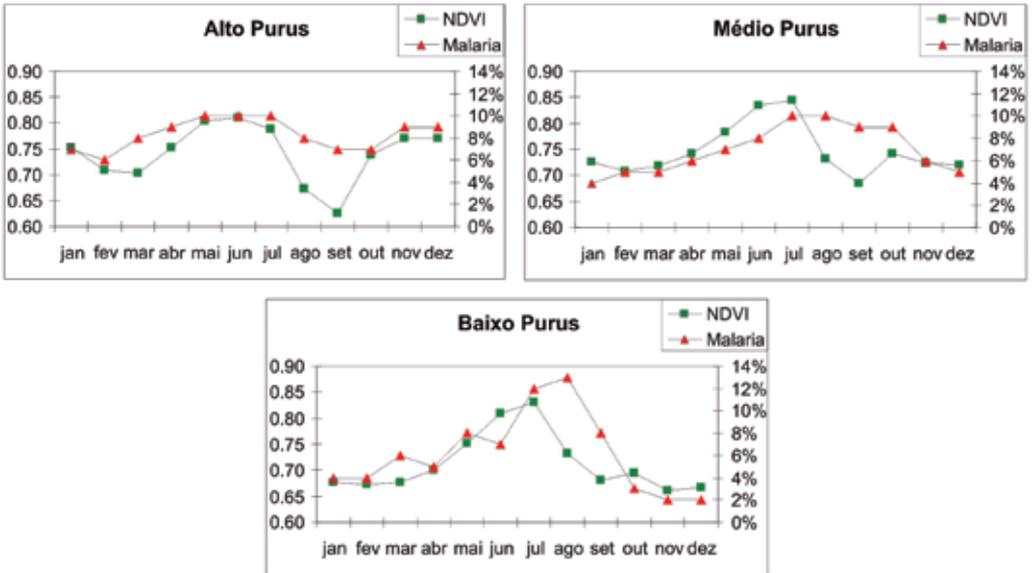
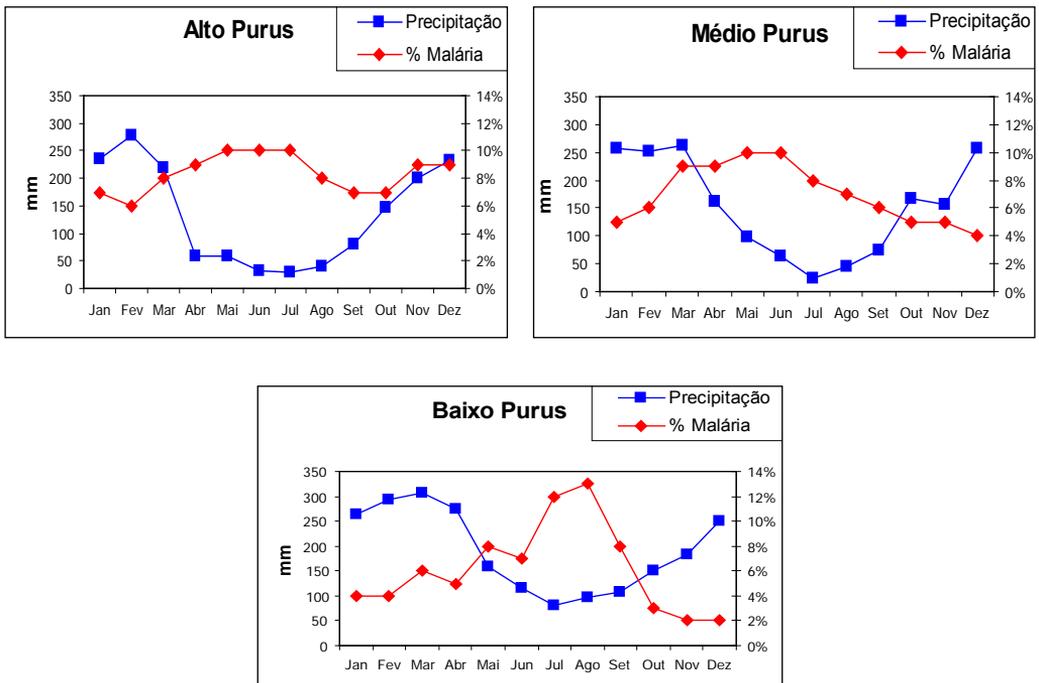


Figura 94. Porcentaje de casos de malaria según mes de ocurrencia entre 2003 y 2006 y el valor promedio de NDVI en las tres regiones de la cuenca del río Purus (Brasil)



Fuente: SIVEP-Malaria y GIMMS/GLCF. 2009

Figura 95. Porcentaje de casos de malaria por mes entre 2003 y 2006, y promedio de precipitación mensual en las tres regiones de la cuenca del río Purus (Brasil)



Fuente: HIDROWEB/ANA y SIVEP-Malaria. 2009⁹.

Tabla 8. Coeficiente de correlación (r) entre precipitación y porcentaje de casos mensuales de malaria en la cuenca del río Purus durante el período de 2003 a 2006. Brasil

Región	Coeficiente de correlación (r)
Alto Purus	-0,58
MédioPurus	-0,42
BaixoPurus	-0,65

Fuente: SIVEP-Malaria y GIMMS/GLCF. 2009

Es notable que el número de casos de malaria presente mayor concentración en el periodo de sequías para los tres sectores de la cuenca, representados por la correlación inversa entre precipitación e incidencia de malaria (Figura 95). Por otra parte, la incidencia de malaria presenta una fuerte correlación con el inicio de la disminución de valores de NDVI. El régimen de lluvias constituye el principal factor estacional de la malaria aunque no se observe una relación directa^{10,11}. Tal como demuestran Grey y Hay (2002), el NDVI sufre influencia de la precipitación y humedad, y este estudio corrobora su uso como indicador de la variabilidad de precipitación en la región.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran el potencial de las herramientas de SIG y teledetección para auxiliar en análisis de la relación entre clima y salud, que se pueden agravar con el cambio climático. Otras variables socioambientales, además de los parámetros climáticos, se deben considerar para comprender la dinámica de la enfermedad. Los SIG en este caso permiten que se incorporen capas de diferentes orígenes y formatos capaces de explicar la distribución espacial y temporal de riesgos, contribuyendo a la planificación de acciones de control.

Agradecimientos a los Colaboradores

Agradecemos a Mariane Carvalho de Assis y Antonio Miguel Vieira Monteiro del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Leonardo Faria Peres de la Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), y Juliana Soares Binder de la Universidade Federal de Itajubá por la colaboración en el desarrollo de técnicas y análisis de datos.

Referencias bibliográficas

1. Organización Panamericana de la Salud (OPS-OMS). Clima e Saúde. Brasília: OPS; 2003.
2. Barcellos C, Monteiro AMV, Corvalan C, Gurgel HC, Carvalho MS, Artaxo P, Hacon S, Ragoni V. Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil. Brasília: Organização Pan- Americana da Saúde; 2008.
3. Green RM, Hay SI, The potential of pathfinder AVHRR data for providing surrogate climatic variables across Africa and Europe for epidemiological applications. Remote Sensing of the Environment, 2002; 79:166-75.

4. Kuhn K, Campbell-Lendrum D, Haines A, Cox J. Using climate to predict infectious disease epidemics. Geneva: WHO; 2005.
5. Gusmão R. The control of malaria in Brazil. En: Casman EA, Dowlatabadi H, editores. The contextual determinants of malaria. Washington, DC: RFF Press; 2002:58-65.
6. Assis MC, Gurgel HC, Monteiro AMV, Binder JS, Peres LF. Estudo da relação entre a dinâmica da malária e o NDVI na bacia do rio Purus. Proceeding II Congresso Internacional & IV Simpósio Nacional de Geografia da Saúde, 2009; Uberlândia, Brasil, Uberlândia: UFU; 2009.
7. Hartkamp AD, White JW and Hoogenboom G. Interfacing GIS with agronomic modeling: A Review. *Agronomy Journal*; 1999; 91:761-72.
8. Gurgel HC, Fotsing JM. Avancée du monde, avancée des parasites, avancée de la médecine : le paludisme au Brésil. En: Lombard J, Mesclier E, Velut S, editores. *La Mondialisation Côté Sud : Acteurs et territoires*. Paris: IRD Editions e ENS, 2006: 83-97.
9. Assis MC, Santos TB, Gurgel HC, Angelis CF. A malária e a dinâmica ambiental na bacia do rio Purus. *Geografia. Ensino & Pesquisa* 2008;12:5034-49.
10. Forattini OP. *Culicidologia Médica: identificação, biologia e epidemiologia*. São Paulo: Edusp; 2002.
11. Rosa-Freitas MG, Tsouris P, Peterson AT, Honorio NA, Barros FSM, Aguiar DB, Gurgel HC, Arruda ME, Vasconcelos SD, Luitgards-Moura JF. An ecoregional classification for the state of Roraima, Brazil. The importance of landscape in malaria biology. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*; 2007. 102:349-57.

4.2.7. Prevención y control de plagas y gestión de riesgos vectoriales en la ciudad de Madrid. España

Autores: José María Cámara Vicario, Manuel García Howlett y Clara Calvo Mora.

Unidad Técnica de Control de Vectores – Departamento de Salud Ambiental
Instituto de Salud Pública – Madrid Salud
(Ayuntamiento de Madrid)
Correo electrónico: mspvectores@madrid.es

Introducción

En el presente capítulo se aborda la experiencia de incorporar el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) a la gestión de la prevención y el control de plagas y vectores urbanos en la ciudad de Madrid. La Unidad Técnica de Control de Vectores (UTCV, Dpto. de Salud Ambiental, adscrito a Madrid Salud) se unió desde un inicio a la estrategia corporativa del Ayuntamiento de Madrid de migrar los sistemas de gestión de bases de datos hacia otro que incorporaba componentes espaciales. Este cambio ha devenido en una profunda transformación en la metodología de trabajo y explotación de datos de la UTCV.

En los últimos decenios, el control de plagas ha experimentado una profunda transformación. Inicialmente, se trataba de operativos esencialmente reactivos por los cuales, un determinado problema era detectado y generaba una respuesta basada fundamentalmente en el empleo de plaguicidas (biocidas). La creciente preocupación por los potenciales efectos adversos de esas sustancias químicas sobre el ser humano y el medio ambiente, el avance en los conocimientos científicos y el impulso dado por diversas organizaciones internacionales, condujeron a la implantación progresiva de sistemas de Gestión Integrada de Plagas (GIP). Esta nueva estrategia, definida como un sistema de principios, prácticas y procesos aplicados a la mejora en los resultados en control de plagas¹, se basa en la gestión integral de los peligros y riesgos y focaliza la gestión de plagas o vectores en la identificación, la caracterización y en la posterior gestión de todas aquellas variables ambientales que predisponen o favorecen la presencia de plagas. Esta estrategia resulta coherente con los conceptos de plaga, entendiendo como tal aquellas situaciones en las que una especie se encuentra por encima de los umbrales de riesgo preestablecidos y con la definición de vector como agente implicado en la transmisión de un agente patógeno dado. En un sentido práctico, este enfoque conduce necesariamente a la revisión y actualización de los sistemas de captura y explotación estructurada de datos. Asimismo supone un reto en la medida que requiere y depende en la consecución de sus objetivos de un correcto análisis de esas variables y de las eventuales correlaciones entre ellas.

Desde una perspectiva municipal, la GIP requiere necesariamente localizar en el espacio y en el tiempo todos los datos relacionados con plagas. Asimismo, debe disponer de recursos tecnológicos que permitan estudiar desde la estadística tradicional,

tanto descriptiva como inferencial, esos datos. De manera complementaria, la componente geográfica genera nuevas perspectivas dentro del contexto de la estadística, la “geoestadística”, ligada a su vez a una nueva y distinta subclase de la epidemiología en la que los atributos de localización de los datos juegan un papel relevante en el diseño de los estudios y en los análisis de esos datos². La detección precoz de *clusters*, el estudio de las relaciones espaciales con múltiples variables ambientales, la gestión de recursos y logística de trabajo, etc., conduce necesariamente al uso de los SIG y la cartografía resultante como fuente de toma de decisiones.

Gestión municipal de plagas con SIG

En el contexto anteriormente expuesto, el servicio municipal de control de plagas necesitó reevaluar y adaptar su funcionamiento a las nuevas estrategias y tecnologías. De las diferentes aproximaciones posibles para construir un proyecto de SIG corporativo potente, funcional y escalable en el tiempo, Madrid Salud apostó por la utilización de recursos SIG preexistentes en otras áreas de negocio municipal (informática municipal, hacienda y urbanismo). Al incorporar esta estrategia es conveniente, en la medida que resulta un proceso costoso, cumplir una serie de prerequisites esenciales: la conexión a bases de datos de la ciudad actualizadas y seguras, la evolución del proyecto, la flexibilidad del sistema y, especialmente, la transversalidad de las diferentes capas de información municipales. Ello ha derivado en la disponibilidad de información actualizada de múltiples variables de la ciudad y en que otros departamentos municipales puedan acceder a información geográfica sobre plagas.

Una primera aproximación lógica al empleo de un SIG de gestión de plagas probablemente sea representar eventos singulares, por ejemplo avisos o quejas ciudadanas, un enfoque vinculado al uso de los primitivos mapas en soporte papel con chinchetas de colores. En Madrid, la complejidad de la gestión de plagas y la búsqueda de objetivos avanzados, más allá de la simple representación cartográfica derivada de un uso simplista del SIG, condujo a la incorporación de *software desktop* como un recurso complementario al SIG corporativo. Esta opción junto con la capacidad de extraer mediante consultas parametrizables información, tanto propia como general de las bases de datos de la ciudad, ha permitido generar cartografía más compleja, tomar mejores decisiones y abordar nuevos proyectos derivados de las hipótesis³ que surgen de los análisis realizados.

La UTCV gestiona diversos programas de prevención y de control de animales-plaga y el uso del SIG en la actualidad abarca la totalidad de los trabajos realizados. Si bien existen elementos comunes, cada tipo de plaga o vector presenta singularidades que hacen necesaria una aproximación particularizada. Esta cuestión afecta asimismo al diseño de los sistemas de información que gestionan esos problemas y obliga a analizar y, en su caso, a usar distintas variables y aproximaciones metodológicas. La incorporación sistemática de los SIG aporta una nueva perspectiva en la cual los datos espaciales adquieren una mayor relevancia debido a la agilidad para desarrollar análisis y procesos geográficos complejos. La UTCV, al haber incorporado estas tecnologías ha desarrollado programas basados en SIG que mejoran la eficacia en la predicción, pre-

vención y control de roedores (ratas, ratones, etc.), artrópodos (cucarachas, mosquitos, avispas-abejas, garrapatas, etc.), aves urbanas (palomas, estorninos, gaviotas, etc.) y otras plagas^{4,5}. La Tabla 9 resume de manera no exhaustiva y referente a un animal-plaga concreto las diferentes funcionalidades de los SIG en control de plagas urbanas.

Tabla 9. Incorporación de los SIG a los programas de prevención y control de plagas y vectores urbanos. Madrid (España)

Vgr. Control poblaciones de aves urbanas (Paloma Bravía; Columba livia)

Actividad programa	Ejemplos de funcionalidades SIG
Censos poblacionales	Censo (N) y densidad de aves en la ciudad (ver Figura 96). Movilidad de animales y seguimiento de desplazamientos.
Gestión de trabajos programados	Planificación y logística. Identificación y localización de instalaciones vulnerables. Gestión de órdenes y rutas de trabajo.
Gestión de avisos (incidencias comunicadas)	Avisos georreferenciados (ver Figura 96). Avisos agregados a límites administrativos (distritos, barrios, etc.) Normalización de avisos por tasas (superficie, población, etc.) Correlación con variables ambientales e incidencias. Correlación con otros datos/información generados por otras actividades del programa. Detección y análisis de clusters. Evolución espacio-temporal de los avisos.
Vigilancia sanitaria	Muestreo y seguimiento de análisis veterinarios. Gestión de episodios de brotes de enfermedad o de mortalidad anómala
Métodos de control	Planificación gestión y optimización de operativos de captura de animales en espacios públicos. Evaluación de impactos sobre otras actividades o variables del programa (vgr. avisos). Diseño y desarrollo de nuevos métodos de control (I+D+i).
Evaluación del programa.	Selección y seguimiento de indicadores de gestión. Gestión económica (eficiencia espacio-temporal) del programa).
Retroalimentación del programa	Análisis de las correlaciones espaciales con variables. Redistribución espacial de materiales y medios.
Información y comunicación	Preparación reuniones trabajo como elementos facilitadores de sinergias (intra o intermunicipales). Presentación de resultados. Divulgación y publicación científica. Comunicación ciudadana (WebMapping-SIG Ciudadano).

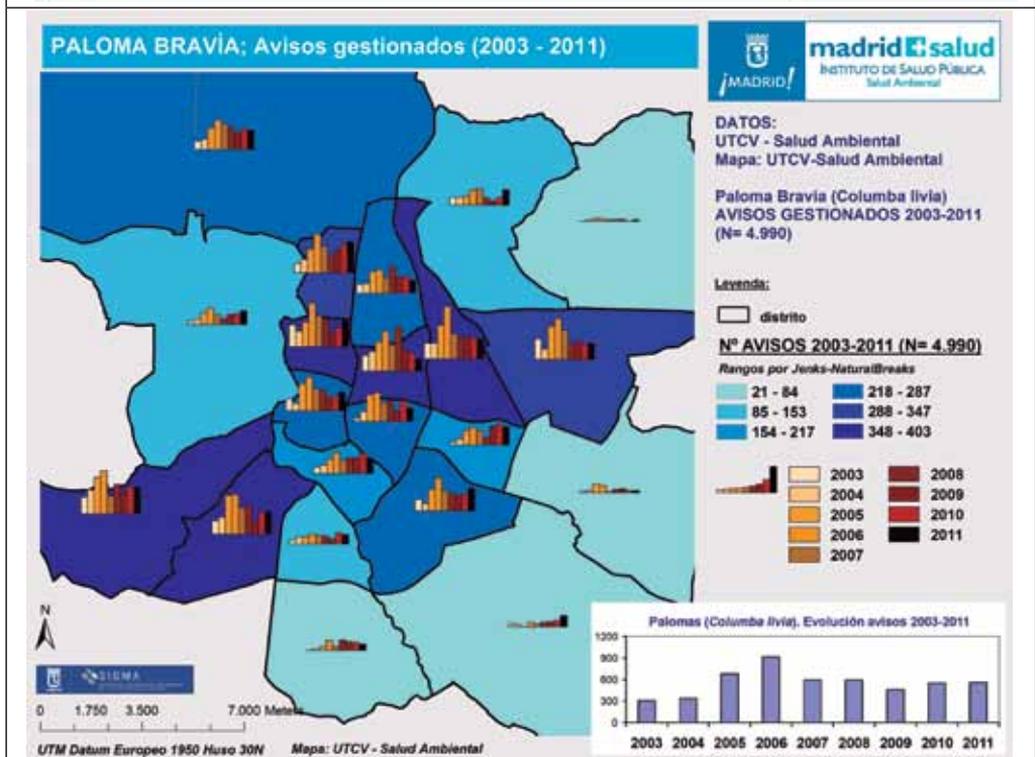
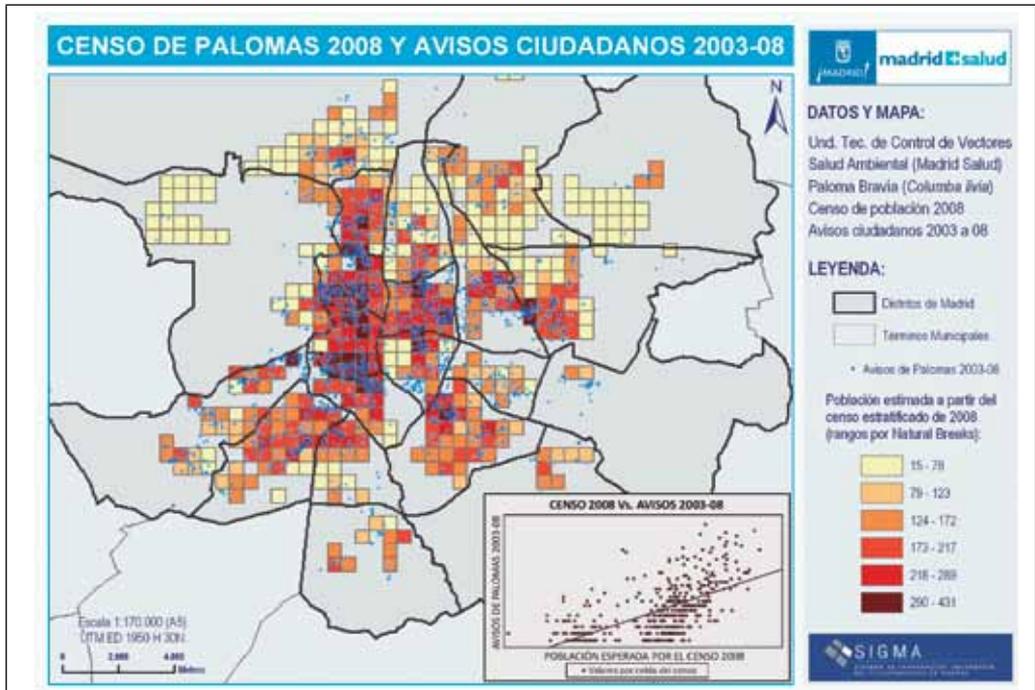
Fuente: Madrid Salud 2012

Las necesidades de una ciudad en materia de prevención y control de plagas requieren de una aproximación mucho más avanzada que la mera gestión de avisos. Esta área de servicio público presenta con frecuencia carencias que pudieran comprometer la fiabilidad de los análisis de peligros y de la toma de decisiones; en excesivas ocasiones, los avisos o incidencias comunicadas por los vecinos serían la única fuente de información vinculada a la “supuesta” plaga, circunstancia que podría introducir sesgos en los datos. En este escenario, los SIG aportan funcionalidades importantes en la medida que permiten incorporar de manera flexible otra información científicamente validada. La GIP requiere disponer de indicadores directos de las poblaciones animales susceptibles de devenir plaga (censos y monitoreo) y adicionalmente necesita establecer con rigor los umbrales de tolerancia o seguridad para esas poblaciones y los intervalos de confianza correspondientes. Una vez obtenida esta información es posible analizar y ponderar las numerosas variables ambientales, socioeconómicas y sanitarias que determinan los diferentes riesgos ligados a esa plaga.

En una secuencia lógica de desarrollo, un proyecto SIG municipal de gestión de plagas demanda una exploración sistemática del volumen de datos e información interna o externa disponible, entendiendo como tal todas aquellas bases de datos que incorporan información no directamente relacionadas con plagas pero que los técnicos e investigadores consideran en una primera aproximación como potencialmente vinculadas a ese problema. Realmente, la cantidad y diversidad de datos es tal que el trabajo de caracterización previa y evaluación de calidad cobra una singular importancia y supone una importante carga de trabajo. Actualmente la UTCV se encuentra en una fase en la cual esas variables están siendo objeto de correlación estadística mediante SIG bajo el criterio y objetivos de identificar con rigor estadístico aquellas que aportan un mayor peso específico a las diferentes problemáticas. Esta selección resulta importante puesto que evita manejar un exceso de información poco relevante, con la consiguiente simplificación de proceso y reducción de riesgos asociados a sesgos. Desde el punto de vista del estudio y el control de las enfermedades vectoriales el enfoque es análogo y los métodos SIG resultan muy útiles para identificar y filtrar los factores ambientales responsables de la transmisión y de la supervivencia de los patógenos^{6,7}.

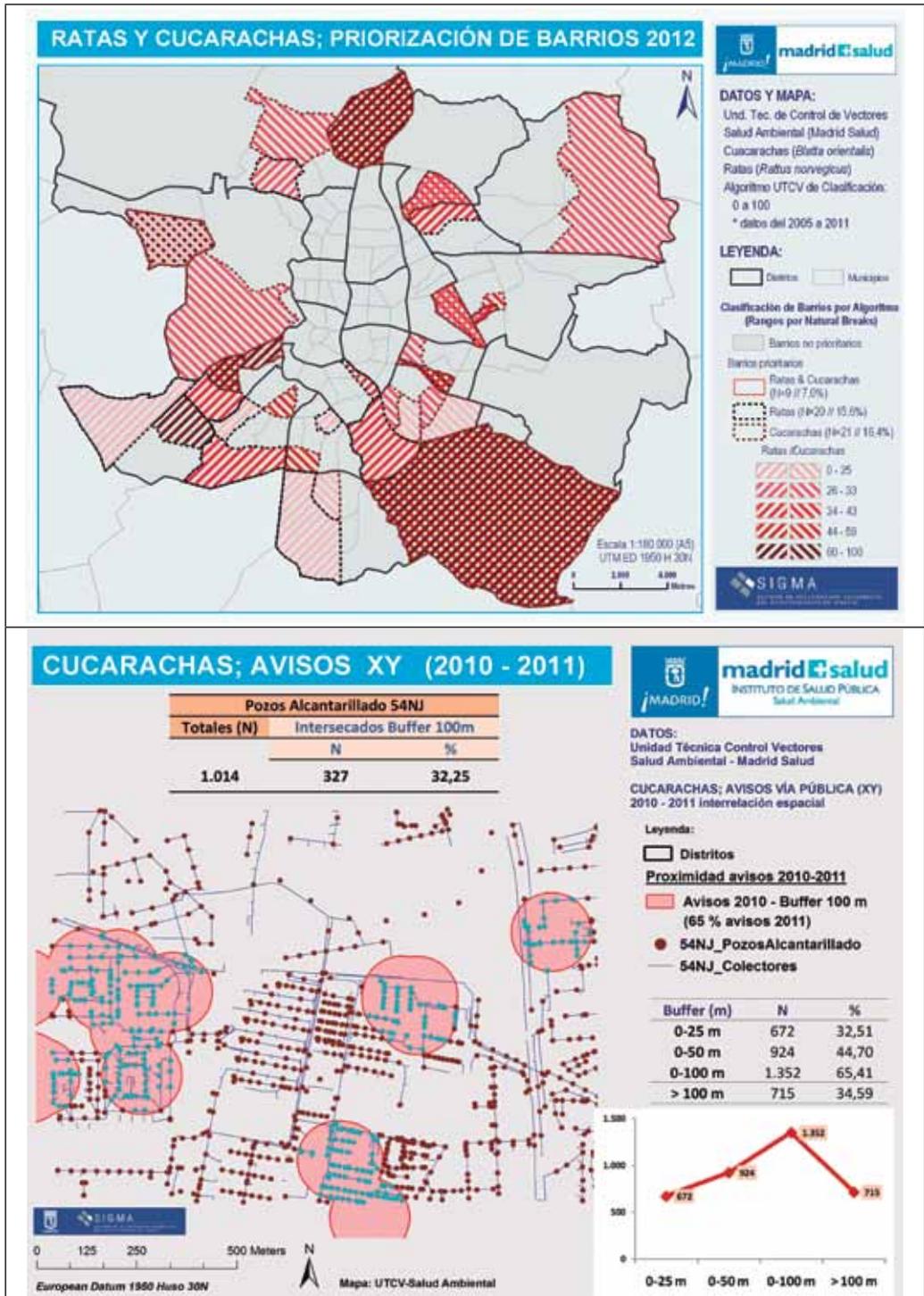
Otra cuestión interesante a considerar en estos momentos es la escala y nivel de agregación de los datos. Es una cuestión relevante que puede ser motivo de problemas y errores en los análisis SIG a la hora de estudiar más tarde las eventuales correlaciones de datos con diferente nivel de resolución espacial⁸. Idealmente, el mejor escenario posible sería disponer de todos los datos en forma de eventos singulares georreferenciados; ello es posible en la mayoría de los datos propios de plagas y permite al experto en SIG, si es necesario, representarlos con un nivel de resolución menor (sección censal, barrio, distrito, área sanitaria, municipio, etc.). En la ciudad de Madrid la gestión de plagas SIG tiene como objetivo disponer y poder trabajar con capas de datos agregados como mínimo a nivel de barrio.

Figura 96. Madrid. Censo de palomas 2008 y avisos ciudadanos 2003-2008



Fuente: Madrid Salud 2012

Figura 97. Ratas y cucarachas; priorización de barrios Madrid. 2012



Fuente: Madrid Salud 2012

En una fase avanzada del proyecto resulta necesario evaluar la disponibilidad y aplicabilidad de tecnologías SIG basadas en el empleo de archivos ráster resultantes de teledetecciones; es el caso de la posibilidad de fotointerpretar series históricas de fotografías aéreas. Respecto al uso de imágenes multispectrales, se trata de una cuestión respecto a la cual existen interesantes experiencias^{6,9,10,11} en un contexto no urbano pero respecto al cual cabría considerar incertidumbres en cuanto a su aplicabilidad práctica en gestión de plagas urbanas. En todo caso, su utilidad dependería en gran medida de parámetros técnicos específicos tales como las resoluciones espaciales, espectrales, temporales o radiométricas.

La tarea más atractiva y compleja del uso de SIG es la predicción del comportamiento espacial de las plagas, para lo que la geoestadística es indispensable. Herramientas analíticas, tales como el filtrado espacial^{12,13}, el análisis discriminatorio y la representación de datos obtenidos de teledetección por series de Fourier^{14,15} han sido aplicados con éxito en la generación de mapas de riesgo para tripanosomiasis y malaria. Esta y otras metodologías de estadística espacial han tenido múltiples aplicaciones en el análisis de otras enfermedades vectoriales donde las interacciones entre factores ambientales, patrones de transmisión y riesgo de enfermedad es aún más complejo¹⁶. La heterogeneidad urbana y la compleja etología de algunos animales plaga en estos ecosistemas introduce nuevos retos y dificultades en la aplicación de estas metodologías. No obstante, la UTCV está explorando el uso de la geoestadística y el análisis espacial con el objetivo de predecir situaciones de plaga¹⁷, principalmente a través de métodos basados en técnicas *kriging*¹⁸.

En un contexto más enfocado a la gestión, no puede dejar de citarse el muy importante papel que juegan los SIG para explicitar y hacer visible los costes y los beneficios de los programas, permitiendo focalizar los esfuerzos en aquellos que mejoran técnicamente y que hacen más eficientes esos programas^{2,19}. Los SIG facilitan en este caso la evaluación de programas de control por gestores no especialistas en plagas.

Aportaciones de los SIG al control de plagas

Como ha sido citado, en la actualidad los SIG se utilizan en todos los programas de la UTCV (Tabla 9). En el contexto de todo lo anteriormente expuesto, las primeras aplicaciones prácticas de los SIG de plagas de Madrid consistieron en la mera representación de los eventos georreferenciados como puntos. Se trata de una primera funcionalidad, simple pero eficaz en la detección de posibles agrupaciones de eventos y como paso previo a otro más complejo e interesante que se refiere a describir y a explicar la naturaleza y las causas de estas agrupaciones espaciales². Otra aplicación inmediata fue la representación cartográfica de avisos agregados por límites administrativos (sección censal, barrio y distrito) normalizados como tasas en relación con la superficie, la población y con otras variables socioeconómicas. Actualmente, todos los datos de plagas así representados son sometidos a seguimiento en las diferentes series temporales desde el año 2005. Esta sencilla exploración está permitiendo clasificar los barrios de acuerdo a su estatus mejorando notablemente la gestión del programa (ver Figura 97). La evolución lógica en el empleo de SIG llevó a iniciar estudios espaciales

sencillos basados en proximidad (áreas de influencia y distancias), que ha permitido constatar la existencia de patrones espaciales en la distribución de las plagas, facilitando la detección de focos y su evolución en el tiempo. Actualmente, la UTCV se encuentra inmersa en la tarea, mucho más compleja pero excitante de avanzar en el conocimiento de cómo las diferentes variables de estudio pueden covariar espacialmente y en el desarrollo de mapas de riesgos de la ciudad. Esta última funcionalidad probablemente se trate del objetivo más ambicioso; se resume en poder determinar qué zonas de la ciudad presentan riesgos específicos frente a los diferentes tipos de plagas. Al poder predecir el comportamiento futuro de una plaga dada en la ciudad, las estrategias y objetivos de prevención y de GIP cobran todo su sentido y potencialidad.

Conclusiones

Tomando como base la experiencia acumulada desde el 2005, se concluye que los SIG han supuesto una mejora fundamental en la gestión de plagas en Madrid. Los elementos de reflexión serían numerosos, como cabe esperar de un sistema que abre infinidad de posibilidades de uso. Entre otras conclusiones, consideramos las siguientes:

- Como ha sido citado, la utilidad práctica es muy elevada, hasta al punto de que podría considerarse su disponibilidad e implementación como una necesidad estratégica para la salud pública municipal.
- El empleo de esta tecnología implica una mejora importante en la práctica totalidad de los procesos y actividades de los programas municipales de gestión de plagas bajo estrategias de GIP.
- Su empleo ha reforzado la “cultura interna” de explotación (análisis y seguimiento) de los datos resultantes de los diferentes programas y actividades.
- Se trata de una tecnología especialmente dotada para desarrollar prevención, en contraposición de estrategias meramente reactivas.
- La comunicación e intercambio de información entre diferentes departamentos municipales se ha incrementado; ambas cuestiones resultan críticas en términos de excelencia y de calidad en la gestión de un servicio público.
- Los SIG resultan una herramienta especialmente dotada para optimizar la gestión económica (eficiencia) de recursos y servicios.
- Nuestra experiencia es coincidente con las reflexiones de ciertos autores³ acerca del potencial de los SIG para generar, en ocasiones, más preguntas que respuestas; esto es más evidente en los aspectos relacionados con la biología de las plagas urbanas.

De manera paralela, se estima necesario considerar y trabajar en la mejora de alguna de las debilidades y potenciales problemas que podrían comprometer su empleo o introducir errores en la visualización y la interpretación de sus resultados (cartografía temática). Los mapas deben ser considerados como informes o resultados de análisis y estos pueden incorporar errores asociados a múltiples causas (calidad y precisión de

los datos, escalas espaciales de estudio, empleo de estadísticos incorrectos, fallos en el manejo técnico del software, etc.). Adicionalmente y al incorporar elementos visuales muy potentes, pueden ser fuente de errores de interpretación por un lector no preparado de características ligadas a la edición del mapa. Se trata de una cuestión que, por su complejidad, escapa a los objetivos de este trabajo por lo que se remite al lector a alguna de las excelentes revisiones sobre estas cuestiones^{8,18,20,21,22,23}. Sin duda alguna, los actuales esfuerzos que los diversos especialistas están realizando en materia de sistematización y de normalización en el uso de esta tecnología redundarán en una aún mejor aplicabilidad de los SIG.

Por último, una vez evitados los posibles errores hay que concluir que los SIG permiten representar visualmente análisis muy complejos y que conllevan en ocasiones el procesamiento de cantidades ingentes de datos. Es el examen visual, crítico, de los resultados el que permite tomar, sin tener que poseer grandes conocimientos teóricos, decisiones fundamentadas y ágiles, que en la salud ambiental pueden ser inestimables.

Referencias bibliográficas

1. Bonnefoy X, Kampen H, Sweeney K (eds.). Public health significance of urban pests. 1 ed. Copenhagen: World Health Organization – Regional Office for Europe; 2008
2. Durr P, Gatrell A. Geographical Information System and spatial analysis in veterinary science. 1 ed. Cambridge (MA): CABI Publishing; 2004
3. Albert DP, Gesler WM, Levergood B (eds.) Spatial analysis, GIS and remote sensing applications in the health sciences. 1 ed. Chelsea (Michigan): Ann Arbor Press; 2000
4. García-Howlett M, Cámara JM. Introducción de las tecnologías de la información geográfica en el control de las poblaciones de animales plaga/vector en la ciudad de Madrid. Rev. salud ambient. 2009;9(1):44-5.
5. Cámara JM, Tamayo I. Geographical Information Technology uses in urban pest prevention and control. En: Robinson W, Bajomi D (eds.). Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Pest. OOK Press; Budapest – Hungary; jul 2008
6. Moore CG, Freier JE. Use of Geographical Information System methods in the study of vector-borne diseases. En: Marquardt WC. (ed.) Biology of disease vectors. 2 ed. Amsterdam The Netherland: Elsevier Academic Press; 2004
7. Kitron U. Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases. J. Med. Entomol. 1998;35:435-45
8. Cauvin C, Escobar F, Serradj A. Cartographie thematique Vols 1-5. 1 ed. Paris France: Lavoisier; 2007
9. Washino RK, Wood BL. Application of remote sensing to arthropod vector surveillance and control. Am. J. Trop. Med. Hyg.; 1994;50:134-44
10. Roberts DR, Paris JF, Manquin S, Marbach RE, Woodruff R., Rejmankova E., Polanco J., Wullschlegger B, Legters LJ. Prediction of malaria vectors distribution of Belize based on multispectral satellite data. Am. J. Trop. Med. Hyg. 1996;54:198-204
11. Estrada-Peña A. Geostatistics and remote sensing as predictive tools of ticks distribution: a cokriging system to estimate Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) habitat suitability in the United States and Canada from advanced very-high-resolution radiometer. J. Med. Entomol.

1998;35:989-95

12. Kitron U et al. Spatial analysis of the distribution of tsetse flies in the Lambwe Valley, using Landsat TM satellite imagery and GIS. *J. Animal Ecology* 1996; 65:371-80.
13. Thomson MC et al. Predicting malaria infection in Gambian children from satellite data and bed net use surveys: the importance of spatial correlation in the interpretation of results. *American J. of Tropical Medicine and Hygiene* 1999; 61:2-8.
14. Hay SI et al. From predicting mosquito habitat to malaria seasons using remotely sensed data: practice, problems and perspectives. *Parasitology Today* 1998; 14:306-13.
15. Rogers D et al. Predicting the distribution of tsetse flies in West Africa using temporal Fourier processed meteorological satellite data. *Ann. Tropical Medicine and Parasitology* 1996; 90:225-241.
16. Kitron U. Risk Maps: Transmission and burden of vector-borne diseases. *Parasitology Today* 2000; 16:324-325.
17. García-Howlett M, Cámara JM. Geostatistics and spatial analysis applied in monitoring and predicting urban pests in Madrid city. 8th international conference on geostatistics for environmental applications. Geoenvia, Gante-Belgium: 11 - 15 Sep. 2010.
18. Webster R, Oliver MA. *Geostatistics for environmental scientists*. 2 ed. West Sussex, John Wiley and Sons; 2007.
19. Robinson TP, Harris RJ, Hopkins JS, Williams BG. An example of decision support for trypanosomiasis control using Geographical Information System in eastern Zambia. *International Journal of Geographical Information Science* 2002;16:345-360
20. Kanevsky M. *Advanced mapping of environmental data*. 1 ed. Hoboken (NJ); Wiley; 2008
21. Smith MJ, Goodchild MF, Longley. *Geospatial analysis. A comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. 2 ed.
22. Lawson A (ed.). *Disease Mapping and Risk Assessment for Public Health*. John Wiley and son; 1999
23. Ariza FJ. *Calidad en la Producción Cartográfica*. Ra-Ma ed.

4.2.8. *Aplicación de los sistemas de información geográfica en la vigilancia y el control en el ámbito de la sanidad ambiental en el Servicio Regional en Girona de la Agencia de Salud Pública de Catalunya. España*

Autores: Pere Serra Costa¹; Lluís Picart Barrot¹; Irene Corbella Cordomí²

1. Servicio Regional en Girona. Agencia de Salud Pública de Catalunya. Generalitat de Catalunya.
2. Área de Salud Ambiental. División de Objetivos y Programas Agencia de Salud Pública de Catalunya. Generalitat de Catalunya.

Introducción

Una definición comúnmente aceptada de sistema de información geográfica es la de un conjunto organizado de tecnología informática (equipo computacional, paquetes de programas, datos geográficos y no geográficos en formato digital), métodos, procedimientos y personal, diseñados para la captura, almacenamiento, recuperación, manejo, despliegue y análisis de datos geográficamente referenciados, con el propósito de apoyar la toma de decisión en la solución de problemas que ocurren en un espacio geográfico dado¹.

Los sistemas de información geográfica (SIG) y tecnologías relacionadas están considerados actualmente como un conjunto de herramientas estratégicas y analíticas para la salud pública.

La salud ambiental es el área de la salud pública relacionada con los factores ambientales que podrían incidir en la salud. En el marco de la ley de Salud Pública² de Catalunya, en la definición de protección de la salud se incluye el conjunto de actuaciones, prestaciones y servicios destinados a preservar la salud de la población ante los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el medio.

El diseño y la implementación de un sistema de información adecuado es esencial para la prevención y control de enfermedades relacionados con factores ambientales. En este marco es evidente la importancia de diseñar e implementar los sistemas de información de los programas de salud ambiental con capacidad de SIG para vigilancia y control de los factores de riesgo ambiental.

En este sentido, teniendo en cuenta la relevancia que pueden tener los sistemas de información geográfica en salud ambiental, en la Agencia de Salud Pública de Catalunya se está impulsando la implementación de diversas aplicaciones con sistemas de Información Geográfica como componente integral de los programas de vigilancia y control de salud ambiental.

En este artículo se presentan algunas aplicaciones de los SIG en el ámbito de salud ambiental que se utilizan actualmente o se están desarrollando desde 2004 en el

Servicio Regional en Girona de la Agencia de Salud Pública de Catalunya (en adelante ASPC) y el Departamento de Salud.

En el marco del Departamento de Salud se ha desarrollado el atlas electrónico de salud de Catalunya (AeS)³ para la representación visual sobre el territorio de los principales indicadores de salud. Tecnológicamente, el Atlas está basado en un sistema de información geográfica y un servidor de mapas que permite consultar información de diferentes sistemas y presentar los datos de manera muy gráfica y comprensible con el visor Hipermapa de Catalunya.

Material y métodos

- Recogida de datos geográficos.
- Base de datos informáticas de los programas de vigilancia y control disponibles en el Servicio Regional de la ASPC.
- Elaboración de mapas para diferentes aplicaciones de vigilancia y control sanitario en sanidad ambiental mediante el Programa MiraMon^R 4, sistema de Información geográfica y software de Teledetección, desarrollado por miembros del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) y la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB).

Georreferenciación, diseño y desarrollo de distintas aplicaciones SIG

Los datos de información geográfica para la georreferenciación se obtienen de diferentes fuentes y en muchos casos principalmente son facilitados por operadores económicos, entidades gestoras de las instalaciones objeto de control o por otras entidades administrativas. También son obtenidos por inspectores mediante GPS. La utilización de un receptor GPS y dispositivos móviles como PDA, *Smartphones*, entre otros, pueden mejorar la recolección de datos de campo para determinar las coordenadas.

Cuando los archivos cartográficos (datos georreferenciados) no están disponibles, el personal de los programas de salud que trabaja en aplicaciones SIG puede utilizar visores de mapas disponibles como ayuda para la georreferenciación. En el ámbito de Catalunya los más utilizados son los del Instituto Cartográfico de Catalunya (ICC) como la aplicación Mercuri⁵ o los sistemas visores de la Generalitat de Catalunya, como el Hipermapa⁶, instrumento que recoge información georreferenciada de forma integrada y sistemática. En algunos casos puntuales se recurre a la localización mediante la cartografía catastral de la Sede Electrónica del Catastro.

En otros casos también se pueden utilizar ortofotomapas de imágenes digitales de los satélites o de fotos aéreas para agregar detalles al mapa y mejorar la exactitud de la información, y ayudar a crear y actualizar las bases de datos cartográficos. Se pueden utilizar una serie de herramientas de edición sencillas incluidas en algunos software gratuitos disponibles (que permiten crear polígonos, líneas y puntos) para añadir información geográfica relevante.

La base de datos del sistema de información geográfica con información geográfica compuesta por datos alfanuméricos vinculada al conjunto de objetos gráficos se puede vincular a cualquiera de las diferentes bases de datos de interés en la vigilancia y el control utilizadas en el Servicio Regional. Asimismo, los SIG utilizados disponen de funciones o herramientas para la entrada de este tipo de datos.

El diseño de una aplicación SIG en el Servicio Regional en Girona de la Agencia de Salud Pública de Catalunya ha permitido obtener múltiples posibilidades de aplicación de sistemas de información geográfica en el ámbito de la salud ambiental.

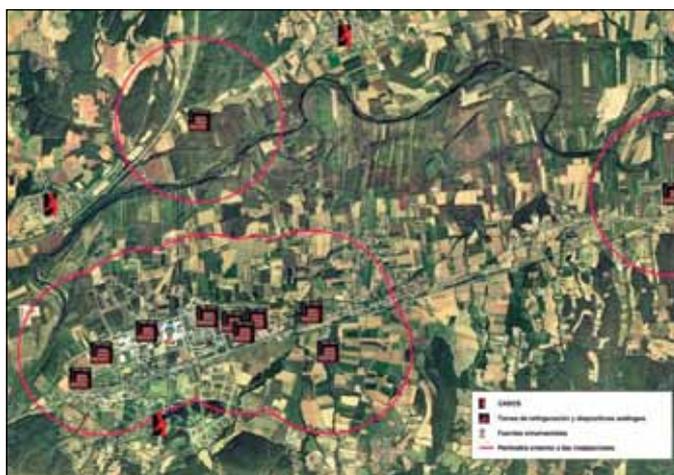
Aunque la mejor manera de apreciar las distintas aplicaciones y la información que se puede obtener es con la visualización y consulta de las distintas aplicaciones, a continuación exponemos algunos ejemplos prácticos resumidos de las aplicaciones de este sistema más comúnmente utilizadas y algunos casos de usos más puntuales.

Sanidad ambiental y vigilancia epidemiológica. Prevención y control de legionelosis

El Programa de vigilancia y control de instalaciones de sistemas de refrigeración y dispositivos análogos dispone de una base de datos con las instalaciones censadas georreferenciadas. Desde la base de datos podemos llegar a conocer cuál es la localización cartográfica de la instalación en cuestión.

Desde el sistema de vigilancia epidemiológica del Departamento de Salud se notifican los casos de legionelosis declarados con información de localización de la residencia, lugar trabajo, ocio o de frecuentación de los casos durante el posible periodo de incubación de la enfermedad.

Figura 98. Girona. Legionelosis. Casos e instalaciones de riesgo

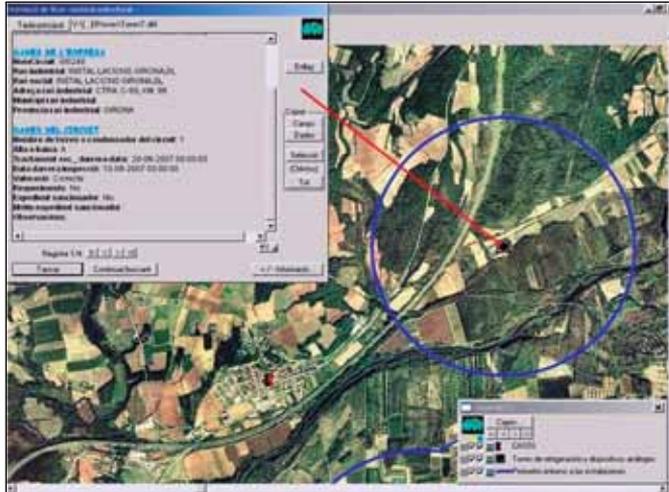


Fuente: Serra et al. 2012

Estas localizaciones de los casos se representan en el mismo mapa (Figura 98)

que las posibles instalaciones que pueden ser fuente de transmisión ambiental de la legionelosis. La creación de un área de influencia (*buffer*) de un radio determinado a la localización de los casos y estas fuentes puede ayudar a determinar las instalaciones más probables como origen de la transmisión.

Figura 99. Girona. Legionelosis. Área de influencia



Fuente: Serra et al. 2012

Esto permite la localización rápida de las posibles fuentes en casos o brotes de legionelosis.

La vinculación de la base de datos del sistema de información geográfica con la base de datos de vigilancia y control de instalaciones de sistemas de refrigeración y dispositivos análogos permite la identificación de las instalaciones más próximas a los casos de legionelosis como posibles focos pudiendo acceder a toda la información asociada a esta y a las características y valoración de las condiciones sanitarias de la instalación (Figura 99).

Sistema de Vigilancia y control de Aguas de Consumo Humano de Catalunya

La información sobre ubicación de las infraestructuras que forman parte de los sistemas de abastecimiento de agua, con datos a georreferenciar principalmente facilitados por las entidades gestoras de suministro (EGS) o recogidos por inspectores mediante GPS, se puede complementar con los datos registrados en el Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo Público (SINAC)⁷.

En el diseño de la aplicación SIG es imprescindible la ubicación de las zonas de abastecimiento, infraestructuras y puntos de muestreo. También resulta útil tener digitalizado el circuito de funcionamiento (camino) del agua (Figura 100).

Figura 100. Girona. Infraestructura de abastecimiento de agua



Fuente: Serra et al. 2012

Con las coordenadas de las infraestructuras de captación, tratamiento, almacenaje y puntos de muestreo se ubican los puntos utilizando una herramienta de digitalización y se relaciona con la base de datos de aguas de consumo.

El circuito principal de la red de distribución se dibuja sobre un mapa digital utilizando una herramienta de digitalización de líneas. La información alfanumérica que contienen los vectores (puntos, líneas o polígonos) del mapa está vinculada con una base de datos que contiene información sobre las instalaciones de agua de consumo humano, por lo cual la aplicación permite visualizar diferente información relevante (Figura 101).

Figura 101. Girona. Datos de un abastecimiento



Fuente: Serra et al. 2012

Se puede seleccionar un vector para visualizar un cuadro en la pantalla que muestra las características, valoración de las condiciones sanitarias u otra información sobre la infraestructura o de la zona de abastecimiento a la cual pertenece el vector seleccionado.

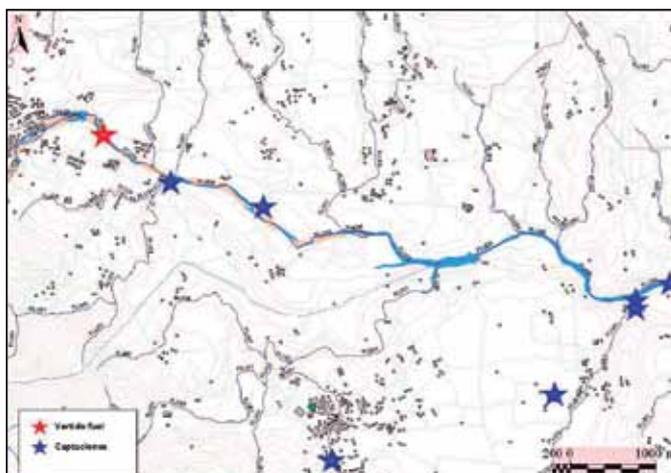
La característica dinámica de la tecnología de la información geográfica (la capacidad de mostrar la información vinculada a un mapa) puede ser muy útil para el personal del programa y miembros de la comunidad en la identificación de problemas y buscar soluciones.

El sistema de información geográfica también se utiliza de manera habitual como herramienta en la valoración de los expedientes de autorización o concesión de vertidos de aguas residuales depuradas y los de reutilización de aguas residuales como elemento clave para la emisión de los informes sanitarios preceptivos correspondientes.

En algunos casos los sistemas de información geográfica resultan útiles para la localización de posibles fuentes de contaminación como medida preventiva de posibles afectaciones de infraestructuras cercanas, especialmente de las captaciones de abastecimiento de agua.

La aplicación de un sistema de información geográfica permite la localización rápida de las captaciones y abastecimientos susceptibles de afectación frente a un episodio de contaminación aguas arriba de las captaciones.

Figura 102. Vertido de fuel y abastecimientos potencialmente afectados



Fuente: Serra et al. 2012

Como ejemplo, en la Figura 102 se puede comprobar la utilidad para el control y vigilancia de captaciones que podrían haberse visto afectadas por un vertido accidental de fuel en un curso fluvial ocurrido el año 2004. Se detallaron sobre un mapa las captaciones más cercanas al curso fluvial afectado para poder identificar rápidamente los abastecimientos que dependían de estas captaciones que podrían ser objeto de vigi-

lancia específica.

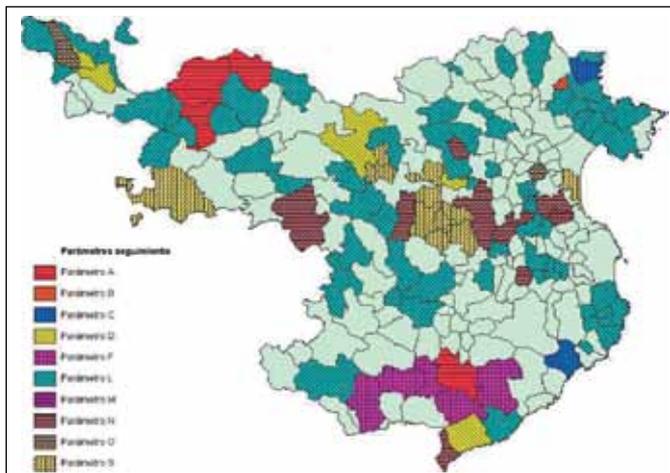
Otra característica a destacar de los SIG es su disposición en forma de capas temáticas en una misma porción del territorio donde la localización de un punto o un conjunto de puntos tienen las mismas coordenadas en todos los mapas incluidos en el sistema. La distribución en capas permite analizar las características temáticas y espaciales para obtener un mejor conocimiento tanto de un objeto concreto como de la totalidad de la zona. Como ejemplo representativo, en el caso del abastecimiento de agua de consumo se dispone de un mapa con capas de las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos conjuntamente con las capas de las zonas de abastecimiento con concentraciones elevadas de nitratos (superiores o en el entorno del valor normativo y de las cuales en el mismo mapa se puede consultar información sobre la evolución) y las ubicaciones de las captaciones de las cuales dependen estas zonas.

Utilidad de la capacidad del sistema de información geográfica de sintetizar y visualizar la información en mapas

La tecnología SIG permite generar mapas detallados con relativa rapidez y facilidad. Los mapas desarrollados con la tecnología SIG pueden ser una herramienta muy eficaz para ayudar a sintetizar, visualizar y entender el problema. Además, la toma de decisiones es más verosímil cuando los responsables pueden visualizar en un mapa claramente que es un problema que ocurre en su área de responsabilidad⁸.

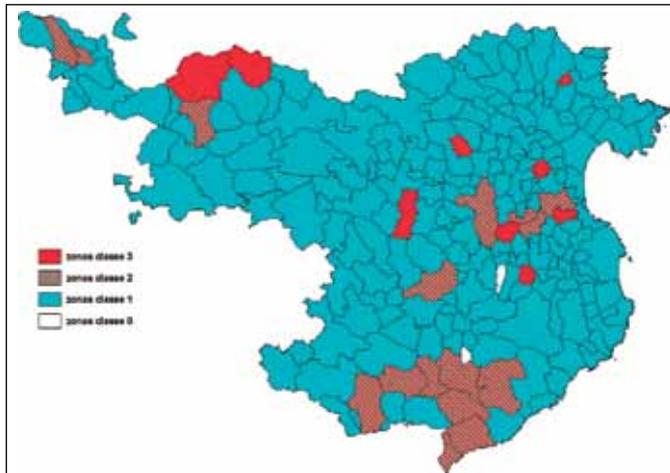
Con este objetivo se puede disponer de diversos mapas de distribución de abastecimientos de agua de consumo en función de diferentes parámetros o indicadores de los sistemas de vigilancia y control como los que se muestran a continuación (Figura 103 y Figura 104).

Figura 103. Girona. Parámetros de seguimiento de abastecimientos de agua



Fuente: Serra et al. 2012

Figura 104. Girona. Clases de abastecimiento



Fuente: Serra et al. 2012

Los diversos mapas generados pueden ser útiles en las reuniones con miembros responsables de las estrategias o programas de salud para mostrar diferentes aspectos como la distribución de prevalencia, densidad de vectores o fuentes de transmisión, o bien diversos parámetros (ambientales, poblacionales,...) a tener en cuenta como indicadores o como factores de riesgo.

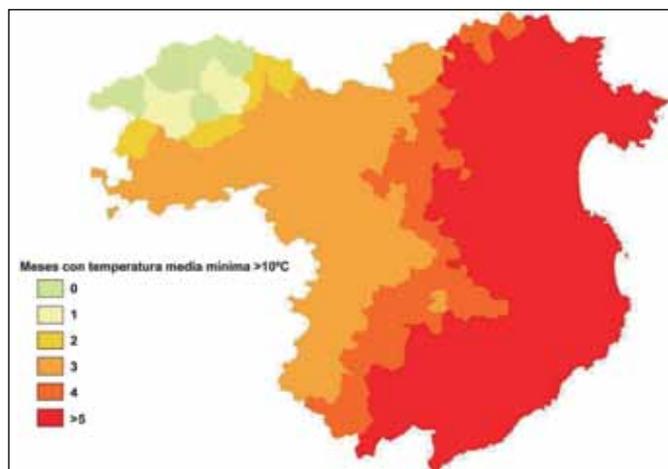
Como ejemplo, en aguas de consumo se puede disponer de un mapa con capas mostrando los niveles de fluoruros en los abastecimientos de agua y correlacionarlo con la prevalencia de caries o por el contrario de fluorosis dental observados en la zona, herramienta que conjuntamente con otros datos estadísticos y encuestas puede ayudar a valorar si puede establecerse una correlación y en algunos casos sirve para modificar los programas locales de enjuague bucal con el objetivo de mejorar la salud oral de la edad escolar.

En otros campos de control ambiental, cabe destacar el ejemplo de la estrategia para la Prevención y Control de vectores.

Por ejemplo, en las reuniones interinstitucionales para establecer la estrategia para la prevención y control del Mosquito Tigre (*Aedes albopictus*) en Catalunya, se utiliza un mapa, como en este caso del área de Girona (Figura 105), con la distribución por zonas de los meses con una temperatura media mínima por encima de 10°C, factor relevante ya que es la temperatura mínima que el mosquito tigre necesita para desarrollar su ciclo. De este modo con el SIG se puede disponer de un mapa de riesgo.

El enfoque intersectorial es clave para el éxito en el control de la transmisión de enfermedades o el control de los factores de riesgo. La tecnología de los SIG facilita la vinculación de los conjuntos de datos de diferentes fuentes por lo que son importantes los aspectos organizativos e intersectoriales que garanticen el acceso a los datos de otras organizaciones para ayudar a los procesos de análisis, planificación y toma de decisiones en los programas de vigilancia y control en salud pública ⁸.

Figura 105. Girona. Meses con temperaturas medias mínimas mayores de 10°C



Fuente: Serra et al. 2012

En este sentido para la gestión de las aplicaciones SIG en el Servicio Regional de la ASPC comúnmente se recurre a datos de sistemas SIG implementados en otros organismos como la Agencia Catalana del Agua (ACA), el Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio Natural, y el Instituto Cartográfico de Catalunya (ICC), entre otros.

Conclusiones

La utilización de sistemas de información geográfica (SIG) es una herramienta que resulta útil en vigilancia y control en algunos campos de salud ambiental, tanto para apoyo al control y la programación de actuaciones como para la obtención y consulta de la información, el análisis, la planificación y evaluación de intervenciones, así como para la gestión y toma de decisiones.

El desarrollo de estas aplicaciones, de estos sistemas en el ámbito de los Servicios Regionales de la ASPC contribuye a mejorar los programas de vigilancia y control en algunos campos de salud ambiental y a alcanzar los objetivos propuestos en los sistemas de vigilancia y control.

Referencias bibliográficas

1. Organización Mundial de la Salud Temas de salud. [Citado el 27 de abril de 2012] http://www.who.int/topics/environmental_health/es
2. Ley 18/2009, de 22 de octubre, de salud pública. Publicado (en catalán) en el Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC) núm. 5495 de 30 de octubre y publicado en castellano en Boletín Oficial del Estado núm. 276 de 16 de noviembre.
3. Departamento de Salud. Generalitat de Catalunya. Atlas Electrónico de Salud de Catalunya (AeS). [Citado el 27 de abril de 2012] <https://www.gencat.cat/salut/depsalut/pdf/eseh6.pdf>

4. MiraMon. Sistema de Información Geográfica y Teledetección. [Citado el 27 de abril de 2012] http://www.creaf.uab.es/miramon/index_es.htm
5. Instituto Cartográfico de Catalunya (ICC). Generalitat de Catalunya. Guia de carrers [Citado el 27 de abril de 2012] (<http://mercuri.icc.cat/website/guia/carrerer.html>)
6. Departamento de Territorio y Sostenibilidad. Generalitat de Catalunya. Hipermapa. Atlas electrónico de Catalunya [Citado el 27 de abril de 2012] http://hipermapa.ptop.gencat.cat/hipermapa/client/151208/base_high_cat.html
7. Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo Público (SINAC). [Citado el 27 de abril de 2012] <http://sinac.msc.es>
8. Geographic Information System For Dengue. Prevention And Control. Working paper for the Scientific Working Group on Dengue Research, convened by the Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases, Geneva, 1-5 October 2006.

4.2.9. Exposición comunitaria a pentaclorofenol en las proximidades de una planta de tratamiento de maderas. East Point, Georgia. Estados Unidos

Autores: Gregory M. Zarus y Lourdes Rosales-Guevara

Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Division of Health
Assessment and Consultation
Department of Health and Human Services
Atlanta, GA. EEUU

Introducción

Son frecuentes las denuncias de la población por el olor procedente de las industrias de tratamiento de la madera, olor que se origina por la mezcla de solventes, los residuos de madera y el pentaclorofenol (PCF). Se ha descrito que la exposición ocupacional a PCF puede dañar el sistema inmunitario y causar anomalías reproductivas y en el desarrollo, pero todavía se conoce poco sobre las exposiciones comunitarias¹.

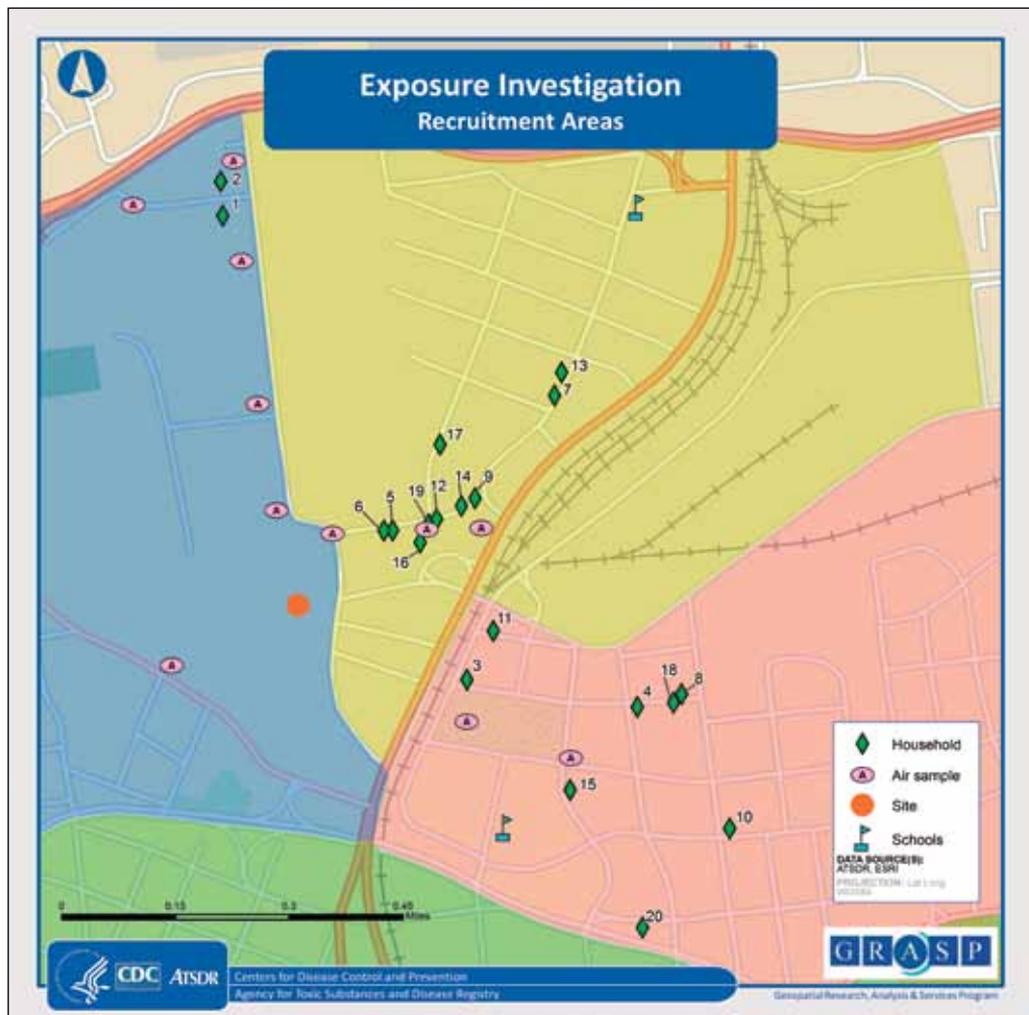
En julio de 2003, un ciudadano solicitó a la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés) una evaluación de salud pública de las emisiones de una planta local de tratamiento de madera en East Point, Georgia (Estados Unidos). La planta trataba maderas con creosota y PCF. Se denunciaba que esas sustancias químicas habían sido vertidas al aire ambiente. Desde octubre de 2003 hasta marzo de 2004, la ATSDR recogió muestras de aire e identificó muchas sustancias químicas relacionadas con los procesos industriales, incluido el PCF². El PCF fue detectado a un nivel medio de $8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (con un rango de $1,3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en 9 de cada 10 muestras de aire tomadas a sotavento de la planta. Debido a la falta de literatura disponible para evaluar los efectos de la exposición por inhalación a esos niveles de PCF, la ATSDR propuso una segunda investigación que incluyó análisis tanto de muestras de aire como de orina². El objetivo de esta segunda investigación fue establecer si los niveles de PCF en orina en las personas que vivían a menos de 1 milla de distancia de la planta eran elevados en relación a los niveles definidos en el Informe sobre Exposición Humana a Sustancias Químicas Ambientales³ de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC por sus siglas en inglés). Los estudios recientes indican que el uso actual de PCF genera una exposición a dioxinas débil o incluso indetectable, posiblemente debido a una mejor formulación de los PCF, por lo que la investigación se centró exclusivamente en el PCF^{4,5}.

Métodos

El muestreo tanto de aire como de orina fue realizado en la zona donde el PCF fue detectado durante la investigación previa. La zona incluía un área de 1 milla de la planta en la que vivían aproximadamente 2.000 personas. Los resultados de la primera investigación en muestras de aire se presentaron en una reunión con unos 200 miembros de la comunidad y se propuso un plan para continuar la investigación, pero ahora inclu-

yendo PCF en orina. Se presentó un mapa con la planta de tratamiento de madera en el centro y un círculo de una milla de radio en torno a la planta. El círculo se dividió en 4 sectores señalados en colores distintos para representar zonas diferentes en relación con la dirección del viento (Figura 106).

Figura 106. East Point, Georgia. Áreas establecidas para la evaluación de la exposición



Fuente: Zarus y Rosales-Guevara. 2012

Se pidieron voluntarios que representasen a cada uno de los cuatro sectores; la recogida de información de cada uno de ellos se hizo mediante un formulario que tenía el color correspondiente al sector en que vivía. Solamente se recabó información de aquellos voluntarios que pasaban más de 12 horas diarias en su respectivo sector. Un total de 80 personas pertenecientes a la comunidad mostraron interés en participar en el estudio. Se solicitó a los residentes que avisaran inmediatamente a los investigadores en cuanto detectasen un episodio de olor. Tras cada llamada que se recibía, los inves-

tigadores procedían a muestrear el aire cerca de los domicilios de los residentes que habían llamado. A continuación se contactaba con todos los voluntarios de cada uno de los sectores de la comunidad y, si era posible, con otros vecinos cercanos y se tomaban muestras de orina. Todas las muestras de orina se recogían durante los tres días que duraba el muestreo de aire.

A. Muestreo en aire

En la primera investigación, que se llevó a cabo desde octubre de 2003 a marzo de 2004, la ATSDR había recogido 10 muestras de aire. En la segunda investigación, que se desarrolló de octubre de 2004 a septiembre de 2005, la ATSDR recogió 14 muestras de aire⁵. Cada toma de muestra se hizo tras la recepción de una queja por olores procedentes de la planta. Las muestras fueron recogidas en el entorno de las viviendas de los voluntarios. Las localizaciones de los puntos de muestreo están señaladas en la Figura 106. No se recogieron datos meteorológicos *in situ*. Las muestras de aire fueron recogidas en tubos absorbentes^{xi} mediante el uso de bombas personales de muestreo con una velocidad de succión de 0,2 L/minuto durante un periodo de 8 horas. El análisis se llevó a cabo mediante cromatografía de alta resolución con detector de ultravioleta⁶.

B. Muestreo de orina

A lo largo de la segunda investigación, de octubre de 2004 a septiembre de 2005, la ATSDR recogió 34 muestras de orina (de 31 residentes y un investigador de la ATSDR). Las muestras de miembros de la comunidad fueron recogidas en las 20 viviendas señaladas en la Figura 106. Las muestras de orina fueron analizadas por el laboratorio del National Center for Environmental Health (NCEH)/CDC en Atlanta, GA, siguiendo el protocolo descrito por Hill et al.⁷. Los resultados brutos en orina fueron ajustados por la concentración de creatinina^{8,9}.

Resultados

Se encontró PCF en el aire ambiente y en orina de los residentes en la comunidad.

En la segunda investigación, se detectó PCF en un 36% (5 de 14) de las muestras de aire, con un rango desde $< 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (límite de detección) hasta $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones medidas en la comunidad se muestran en la Tabla 10. Un 58% de las muestras de aire analizado tiene niveles detectables de PCF. Cualquier detección es reseñable, puesto que el PCF se detecta muy raramente en el medio. Los niveles de fondo se estiman en un rango de 0,00015 a $0,136 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en USA¹⁰ y entre $0,00043$ y $0,00368 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Canadá¹¹.

xi. Según el método número 39 para la determinación de PCF en aire de la OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

Si comparamos las muestras recogidas a las mismas distancias y localizaciones de la planta, los resultados de ambas investigaciones fueron similares cuando el PCF fue detectado. Por ejemplo, el máximo de 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ encontrado en la segunda investigación (05/01/2005) fue medido en la misma localización (vivienda 1) donde se midió 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera investigación (27/10/2003). Además, se obtuvieron los resultados de 8,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la misma localización (viviendas 2 y 4) donde se había medido 7,9 y 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente en la primera investigación. Tal similitud no se produjo, si embargo, para muestras recogidas después de abril de 2005, porque no se detectó PCF después de esa fecha.

Tabla 10. Concentraciones de Pentaclorofenol (PCF) medidas en aire a varias distancias de la planta de tratamiento de maderas en las dos investigaciones. East Point. Georgia (USA)

Fecha de la muestra	Distancia en pies (1 pie=30,48 cm)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
27/10/2003	5700	4,27
27/10/2003	110	22
27/10/2003	100	30
05/03/2004	3900	1,8
05/03/2004	220	1,3
05/03/2004	200	3,5
05/03/2004	220	3,6
05/03/2004	220	6,9
05/03/2004	220	7,9
05/03/2004	300	ND
04/11/2004	3600	3,9
04/11/2004	3900	5,4
04/11/2004	220	8,1
05/01/2005	110	22
05/01/2005	100	29
21/04/2005	2400	ND
22/04/2005	100	ND
22/04/2005	3100	ND
22/04/2005	1800	ND
14/09/2005	3030	ND
14/09/2005	3020	ND
14/09/2005	5700	ND
14/09/2005	1400	ND
14/09/2005	110	ND

ND = PCF no detectado en la muestra. Límite de detección = 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores en negrita corresponden a muestra de aire recogidas durante la investigación en la que también se recogieron muestras de orina.

Fuente: Zarus y Roales-Guevara. 2012

Como resultado de que el PCF no estuviera presente en el aire después de abril de 2005, se dispuso solo de 4 periodos de muestreo para determinar alguna asociación

entre las concentraciones en aire y la distancia a la planta. Cada uno de los cuatro periodos mostró una disminución de la concentración con la distancia. Para dos de esos periodos el valor de r^2 fue 0,91 y 0,86.

Los niveles de PCF en orina para cada participante se muestran en la Tabla 11 por volumen de orina ($\mu\text{g/L}$) y ajustado por creatinina (en $\mu\text{g/g}$ de creatinina), junto a las muestras de aire recogidas cerca de la residencia del participante.

Un 39% de los residentes tenían niveles detectables de PCF en su orina (el límite de detección en orina es de $0,5 \mu\text{g/L}$). El porcentaje es sensiblemente superior al de la población general (20%) lo que puede indicar que la exposición a PCF en aire tiene un impacto en la carga corporal global de PCF en la comunidad ⁵.

El PCF en la orina de los residentes se presentó en un rango de ND ($<0,5 \mu\text{g/L}$) a $6,66 \mu\text{g/L}$ mientras que en la población general ($n=5023$) fue de ND a $325,19 \mu\text{g/L}$ (CDC 2005)³. Los niveles más altos en ambas poblaciones son inferiores al nivel más bajo ($950 \mu\text{g/L}$) en el que están descritos efectos renales en hombres⁹.

Tabla 11. Concentración de Pentaclorofenol PCF en orina de los participantes (con y sin corrección de creatinina) y en aire de la muestra más cercana a la vivienda. East Point. Georgia (USA)

Vivienda	Hombres $\mu\text{g/L}$ ($\mu\text{g/g}$ de creatinina)	Mujeres $\mu\text{g/L}$ ($\mu\text{g/g}$ de creatinina)	Aire* (el más próximo a la vivienda) $\mu\text{g/m}^3$
1	ND	1,66 (0,57)	3,43
1		0,74 (0,36)	3,43
2	ND	6,66 (5,46)	3,43
3	ND	ND	3,43
4	ND	ND	ND
5	ND	ND	ND
6	0,55 (1,54)	0,90 (1,67)	ND
7	ND	ND	ND
7	ND		ND
8		0,63 (0,23)	ND
8		ND	ND
8		ND	ND
9	ND		ND
9(d)	ND		ND
10	ND		ND
11	ND		ND
12	1,75 (0,78)		ND
13	3,68 (1,53)		ND
14		ND	ND
15		ND	ND
16		ND	ND
17		0,58 (0,61)	ND
18		2,44 (1,18)	8,10
19		2,73 (2,08)	ND
20		3,70 (1,73)	8,10
ATSDR	1,22 (0,76)		NS
ATSDR (d)	1,62 (1,22)		ND**

ND = No Detectado (orina $< 0,5 \mu\text{g/L}$; aire $< 1,3 \mu\text{g/m}^3$); NS = Sin muestra; (d) = Segunda muestra recogida tras un tiempo cerca de la planta; ATSDR = Muestras recogidas de un investigador; Los hogares con >1 participante están sombreados (hogares 1–8). **Se recogieron muchas muestras en la vecindad; pero solo se presentan los datos de las más próximas a los voluntarios. **El investigador estuvo tiempo cerca de la planta y en varias localizaciones del vecindario; Las muestras de la comunidad fueron ND

Fuente: Zarus y Roales-Guevara. 2012

La mitad de las mujeres de la muestra presentaron niveles detectables por solo 3 de los 13 hombres residentes.

Las concentraciones en aire medidas en las muestras más próximas a cada residencia también se recogen aquí. Hay 13 ocasiones en que no se detectó PCF en la orina de los residentes en viviendas y tampoco se detectó en la muestra asociada de aire. Hay cinco ocasiones en las que las mujeres presentaron PCF en su orina asociada con PCF detectado en la muestra más próxima de aire, pero no se dio tal coincidencia para los hombres.

No se encontró asociación estadísticamente significativa entre niveles detectables en aire y orina en hombres: cuando no se detectó PCF en aire (n=10), el 33% de los hombres presentaron niveles detectables en orina. La asociación en mujeres es muy leve. Cuando se detectó en aire (n=9), el 83,3% de las mujeres presentaron niveles detectables de PCF en orina; sin embargo, el 33,3% de las mujeres presentaron niveles detectables cuando no se encontró en aire.

En la Tabla 12 se muestran las diferencias en las concentraciones entre la comunidad estudiada y la población general, utilizando los percentiles en hombres y mujeres separadamente.

Aproximadamente el 22% (IC 95%: 6,41-47,64%) de las mujeres presentaron niveles de PCF en orina que estaban por encima del percentil 95 en el conjunto de las mujeres americanas. Además, el percentil 75 de las concentraciones en las mujeres fue en promedio 4,7 veces más alto que el mismo percentil en las mujeres americanas.

Tabla 12. Concentración de Pentaclorofenol (PCF) en orina de residentes que viven cerca de la Planta de tratamiento de maderas. Comparación con la población general. East Point. Georgia (USA)

Percentiles	Población del estudio*		Población de EEUU			
	Mujeres (n=18)	Hombres (n=13)	NHANES 1999–2000		NHANES 2001–2002	
			Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres
95 (IC95)	6,66† (<LOD–6,66)	3,68† (<LOD–3,68)	0,860 (0,28–2,00)	1,40 (0,40–2,20)	1,92 (1,54–2,42)	1,94 (1,47–3,09)
90 (IC95)	3,70 † (<LOD–6,66)	1,75† (<LOD–3,68)	<LOD	0,63 (<LOD–1,30)	1,10 (<LOD–1,78)	1,31 (0,680–1,80)
75 (IC95)	1,66 (0,58–6,66)	<LOD (<LOD–3,68)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
50 (IC95)	0,54 (<LOD–1,66)	<LOD (<LOD–0,55)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Nota: El límite de detección (LOD) de PCF en orina para la NHANES 1999–2000 es 0,25 µg/L, y para NHANES 2001–2002 es 0,50 µg/L (ver National third report, página 461), LOD para este estudio es de 0,50 µg/L.

*La diferencia entre los niveles de PCF en orina para hombres y mujeres en todos los percentiles no es estadísticamente significativa. †La muestra es demasiado pequeña para poder calcular el IC.

Fuente: Zarus y Roales-Guevara. 2012

Entre las limitaciones del estudio hay que señalar que la empresa que explota la planta no informó sobre cuándo estaba tratando madera con PCF por lo que el muestreo de aire se orientó exclusivamente por las quejas de olores. Además, no se recogieron datos de viento cerca de la instalación y no se ha evaluado la concentración en ambientes interiores, lo que influye en los cálculos de la OR, puesto que la gente pasa menos tiempo en el exterior, que es donde se muestreó el aire, que en el interior de los edificios.

Conclusiones

- Los niveles de PCF resultaron elevados ocasionalmente en el aire de una comunidad localizada cerca de una planta de tratamiento de madera. El rango de variación de estos niveles fue muy alto.
- El PCF detectado en la orina de las mujeres presentó una débil asociación (no significativa) con el PCF detectado en el aire. No se encontró asociación en hombres.
- Las mujeres en esta comunidad presentaron niveles más altos de PCF en orina que los hombres de la misma comunidad y que las mujeres en la población general. Las concentraciones de PCF en orina en hombres de la comunidad no fueron significativamente elevadas. Sin embargo, las diferencias entre hombres y mujeres no fueron significativas estadísticamente debido al pequeño número de participantes.

Bibliografía

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for pentachlorophenol (update). Atlanta: Department of Health and Human Services; September 2001.
2. Zarus G. Health consultation: Exposure investigation report for airborne chemicals from wood treatment, Meredith, East Point, Georgia. Atlanta: US Department of Health and Human Services. May. 2004.
3. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). National Center for Environmental Health, Division of Laboratory Sciences (Atlanta, GA). Third national report on human exposure to environmental chemicals; Department of Health and Human Services (US). 2005. NCEH Pub. No. 05-0570.
4. Zarus G. Public health assessment for airborne exposures to wood treatment chemicals from Kerr-McGee Chemical Corporation, Columbus, Mississippi. Atlanta: US Department of Health and Human Services. Oct. 2009.
5. Zarus G, Rosales-Guevara L. Health consultation: Exposure investigation for pentachlorophenol in the air and urine of a community from wood treatment, Meredith, East Point, Georgia. Atlanta: US Department of Health and Human Services. Aug. 2007
6. Cummins K. Pentachlorophenol: evaluation procedures of the methods evaluation branch. Occupational Safety and Health Administration. OSHA 39. October. 1982.
7. Hill RH, Needham L, Head LL et al. Determination of pesticide metabolites in human urine using an isotope dilution technique and tandem mass spectrometry. J. Anal. Toxicol. 1990.

19(5):323-9.

8. Mage DT, Allan RH, Gondy G, Smith W, Barr DB, Needham L. Estimating pesticide dose from urinary pesticide concentration data by creatinine correction in the Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES-III). *J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.* 2004. 14:457–65.
9. Begley J, Reichert EL, Rashad MN et al. Association between renal function tests and pentachlorophenol exposure. *Clin. Toxicol.* 1977. 11:97–106.
10. US Environmental Protection Agency (EPA). Exposure and risk assessment for pentachlorophenol. Washington DC: NTIS PB85-211944; 1980. EPA 440/4-81-021.
11. Cessna AJ, Waite DT, Constable M. Concentrations of pentachlorophenol in atmospheric samples from three Canadian locations, 1994. *Bull. Environ. Contam. Toxcol.* 1997; 58:651–8

Conclusiones

A lo largo de estas páginas hemos visto cómo las herramientas geográficas, que no son nuevas en salud ambiental aunque sí se han visto muy impulsadas por el desarrollo de los SIG, permiten, mediante el mantenimiento actualizado de grandes bases de datos espaciales, representar muchos fenómenos de forma sintética así como analizar las interrelaciones en el espacio y en el tiempo de diferentes variables y generar nueva información mediante la continua reelaboración que posibilitan.

No debemos, no obstante, presumir prepotentemente y caer en la ingenuidad de pensar que el camino está expedito, desconociendo las limitaciones de esta tecnología. Se ha visto que los datos geográficos contienen trampas y posibilidades de error tanto en los atributos de los objetos geográficos como en la propia definición geométrica de los datos. Es preciso controlar la euforia. Y hay mecanismos suficientes para controlar los errores. El primero de ellos, el sentido común. Una vez conocidas nuestras limitaciones y las de la tecnología que utilizamos, podremos avanzar.

Hay que ser conscientes además de las obligaciones que los profesionales de la salud tenemos con la protección de datos personales. Un mapa puede vulnerar esta protección sin que el que lo realiza se aperciba de ello, por lo que hay que ser especialmente cuidadosos.

La sola representación cartográfica de variables sociales y ambientales genera información porque el territorio es en sí mismo un indicador combinado y sintético de determinantes de la salud de las poblaciones que lo habitan. Conocer los patrones de distribución espacial de estos determinantes es clave para comprender y para poder intervenir. Pero es necesaria una pequeña pericia para poder interpretarlos correctamente, para saber identificar con agilidad los individuos de observación y las variables que están representadas en los mapas, cómo están estructurados y qué hay detrás de los aspectos semióticos (de comunicación) propios de los mapas: los intervalos de las variables, el color, las posibles falacias cartográficas.

Además de la mera representación cartográfica, los SIG ofrecen una casi infinita posibilidad de análisis: de una variable o de varias; de un objeto o de varios objetos (puntos, líneas, polígonos); de una capa o de varias capas (superposición); de objetos originales o transformados; de los atributos de los objetos geográficos o de sus formas y disposición geométrica en el espacio, etc.

La principal posibilidad que ofrecen a la salud ambiental los SIG es la de facilitar la comprensión de los mecanismos de exposición humana a agentes ambientales que como se ha mencionado es el centro de interés de los profesionales de salud ambiental. Se han visto las diferentes estrategias que se pueden adoptar para evaluar la exposición en función de la proximidad a las fuentes de emisión y de su naturaleza (puntuales o difusas), ya sea de organismos patógenos (*Legionella*, vectores y plagas) o de sustancias químicas (plomo, arsénico, pentaclorofenol, contaminantes atmosféricos, etc.), sea cual sea el medio que utilicen dentro de la cadena de exposición (de la emisión de contaminantes hasta los efectos en salud), es decir, ya se trate del aire, del agua o del suelo. Se han podido comprobar qué medidas se utilizan en los análisis de proximidad

en diferentes contextos y podemos concluir a este respecto que no hay recetas infalibles y que el conocimiento del territorio por parte de los profesionales es primordial para adoptar decisiones razonables, eficientes y de sentido común.

Hemos visto cómo podemos apoyarnos en los SIG para conocer datos esenciales en los procesos de exposición tales como la intensidad (en función de la distancia), la frecuencia y duración de la exposición (en función de los ritmos de actividad) y la vulnerabilidad de la población expuesta. Algunas soluciones encaminadas a medir la exposición van por la senda de establecer áreas de influencia sobre el territorio considerado como un continuo espacial homogéneo. Otras estrategias discriminan dentro de ese territorio, por diversos mecanismos, las zonas habitadas de los espacios vacíos (márgenes de carreteras, zonas sin acceso público, etc.) Alguna solución se avanza en el sentido de valorar la exposición individual, bien mediante el cálculo de los niveles de inmisión en un momento y lugar concreto, bien mediante el análisis de la exposición mediante biomarcadores y su relación con el territorio en el que residen los individuos a estudio. Pero sigue siendo un reto, por no decir una quimera, la medida de la exposición real: algo se ha avanzado en el desarrollo de herramientas que permitan la medida del mapa temporal individual que refleje dónde se produce la exposición de los ciudadanos a lo largo del día (ambientes interiores, exteriores, en medios de transporte, en viviendas, en lugares de trabajo, enseñanza, ocio, etc.)

Los modelos espaciales facilitan la predicción de exposiciones y la adopción de medidas de intervención ante situaciones presentes (como por ejemplo la predicción de los niveles de inmisión de contaminantes atmosféricos) o futuros (como en los procedimientos de evaluación de impactos ambientales en salud, de evaluación de salud pública o respecto a las amenazas que plantea el cambio climático). En este último aspecto hemos podido comprobar cuán útiles resultan las tecnologías de información geográfica ligadas a la interpretación de imágenes remotas.

Se ha visto también cómo el concepto de pertenencia o no a un territorio concreto puede ser utilizado como herramienta de análisis que desvele las diferencias inherentes al territorio y las consiguientes desigualdades en salud relacionadas con la calidad ambiental: asma, enfermedades respiratorias, mortalidad. Hemos repasado el uso de estas herramientas para valorar estos procesos de desigualdad en zonas de diferente escala: lugares contaminados, polígonos industriales, sectores urbanos o ciudades enteras e, incluso, en estudios multicéntricos que reúnen los resultados de varias ciudades.

Los SIG permiten conocer las poblaciones sometidas a estrés ambiental y las características de los grupos que las componen.

Permiten dar respuestas rápidas en momentos de crisis de salud ambiental y por lo tanto facilitan la gestión de esas crisis.

Como consecuencia de todo ello, gracias a estas herramientas, se hace más sencilla la vigilancia continua de la exposición, ya sea de los sistemas de abastecimiento de agua potable, de la contaminación atmosférica, de las enfermedades transmisibles

de origen ambiental o de los riesgos derivados de plagas y vectores.

En definitiva, es de esperar que el mosaico de experiencias aquí mostradas haya dejado claro que las herramientas de representación y análisis geográfico son aliadas insustituibles para las tareas que los profesionales de la salud ambiental desarrollan para contribuir a proteger la salud de las comunidades.

Área de Influencia o *buffer*

Herramienta clave para abordar análisis de proximidad con la que se generan zonas de una distancia dada alrededor de los elementos geográficos de interés, ya sean puntos (Ej. Una chimenea de emisión de contaminantes), líneas (Ej. Una carretera) o polígonos (Ej. Un vertedero). Se crea así un nuevo objeto geográfico (polígono) en el que mediante superposición de capas se pueden incluir otros elementos total o parcialmente. Permite responder a preguntas del tipo: ¿Cuánta población de menores de cinco años residen en un radio de 200 metros alrededor de una industria contaminante, una carretera con tráfico denso o una finca con el suelo contaminado?

Atributos

Variables cualitativas o cuantitativas asociadas a elementos geográficos. Son las características descriptivas que especifican las propiedades de un elemento geográfico (punto, línea o polígono). En el caso de sistemas ráster en que cada celda en una imagen representa una porción rectangular del espacio, el atributo es la cualidad o valor que caracteriza una localización dada.

Base de datos geográfica

Base de datos con información dual: espacial (geométrica) y de atributos.

Es una base de datos con extensiones que dan soporte a objetos geográficos permitiendo el almacenamiento, indexación, consulta y manipulación de información geográfica y datos espaciales.

Capa cartográfica o cobertura

Conjunto de datos espaciales asociados temáticamente y considerados como una unidad. Una capa cartográfica es un modelo digital, el cual almacena y conecta conjuntos de elementos geográficos con sus atributos asociados. No existe límite en el tamaño del área que se puede representar en una cobertura. Podría incluir desde el mundo a una aldea. Una cobertura está compuesta por un conjunto de archivos relacionados. Estos incluyen archivos con coordenadas y archivos con atributos.

Cartografía

Conjunto de técnicas para la elaboración de los mapas.

- Cartografía topográfica: se encarga de la elaboración de mapas topográficos que se pueden definir como “una representación exacta y detallada de la super-

^{xii}. Tomados parcialmente de la Asociación Española de SIG (http://www.aesig.es/infosig/infosig_e.htm) y del Institut Cartogràfic Valencià (<http://terrasit.gva.es/>).

ficie terrestre, referente a la posición, forma, dimensiones e identificación de los accidentes del terreno así como de los objetos concretos que se encuentran permanentemente sobre ellos” (F. Joly³⁶).

- Cartografía temática: se encarga de la producción de mapas temáticos que se pueden definir como “la representación convencional, sobre un fondo de referencia (topográfico) mediante símbolos cualitativos y cuantitativos, de los fenómenos localizables de cualquier naturaleza y de sus correlaciones” (F. Joly³⁶).

Centroide

Centro geométrico de un polígono (normalmente irregular, por eso no se habla de centro). Puede utilizarse para hacer la conversión de un elemento poligonal a un elemento puntual: igual que los atributos de un punto se pueden transferir a un polígono mediante la generación de un área de influencia, el centroide puede asumir las cualidades de todo un polígono de forma que se pueda trabajar con él como si fuera un punto.

Datum geodésico

Conjunto de puntos de referencia definidos en la superficie terrestre, a partir de los cuales se toman las coordenadas que surgen del ajuste de estas mediciones terrestres. Este conjunto de puntos define una superficie constante y conocida utilizada para describir la localización de puntos sobre la tierra.

Dado que diferentes *datum* tienen diferentes radios y puntos centrales, un punto medido con diferentes *datum* puede tener coordenadas diferentes. Existen cientos de *datum* de referencia desarrollados para referenciar puntos en determinados áreas convenientes para esa área.

Los *datum* más usados:

- América del norte: NAD27, NAD83 y WGS84.
- Brasil: SAD 69/IBGE.
- España: ED50. Ha sido el sistema oficial de la cartografía de la Península y Baleares hasta el año 2008 cuando se adopta como oficial en ETRS89 mediante el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.

Espacio geográfico

Según Jean Tricart “En su sentido más amplio, el espacio geográfico es la epidermis del planeta Tierra”. Es el espacio organizado por la sociedad en el que se desenvuelven los grupos humanos en su relación con el medio ambiente.

Fotogrametría

Técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situa-

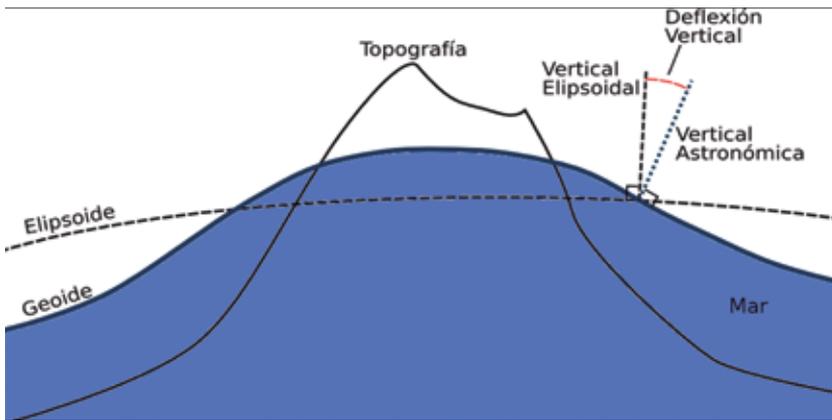
ciones espaciales a partir de imágenes fotográficas.

Fotointerpretación

Técnica para analizar el territorio a partir de imágenes fotográficas.

Geoide:

Forma de la tierra desde un enfoque matemático que implica la necesidad de determinar una superficie ideal, como plano de comparación, independiente de la figura real obtenida por los mares y los continentes.

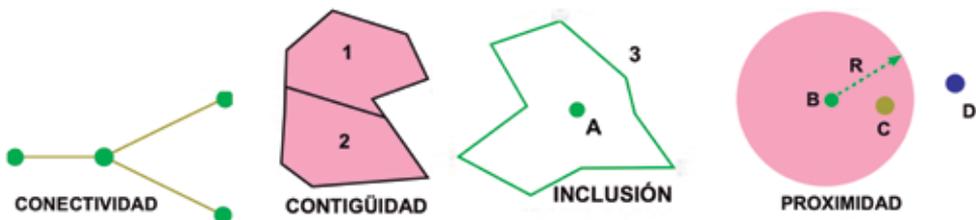


Georreferenciación o geocodificación

Proceso de asignar coordenadas geográficas (latitud-longitud) o proyectadas (x e y) a puntos del mapa (direcciones, puntos de interés, etc.). Uno de los usos más comunes es la georreferenciación de direcciones postales. Para ello se requiere una cartografía base sobre la que referenciar los códigos geográficos.

Información topológica

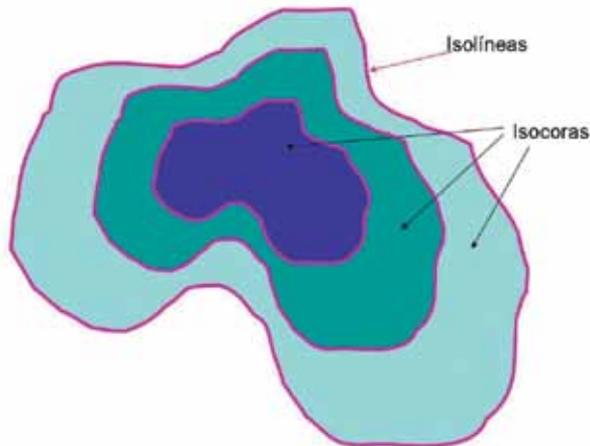
Propiedades de conectividad, contigüidad, inclusión y proximidad, es decir, propiedades no métricas y que permanecen invariables ante cambios morfológicos, de escala o de proyección. Se dice que una estructura de datos es 'topológica' cuando incluye información explícita sobre estas propiedades.



Este tipo de información permite reducir la redundancia de la información y almacenar la información topológica de forma explícita e independiente de las coordenadas.

Isolíneas o Isocoras

Líneas o regiones, respectivamente, que presentan el mismo valor para una variable cuantitativa. Son el producto de interpolaciones de atributos medidos en puntos que permiten la proyección de esos valores para todo el territorio. Las isolíneas más comunes son las curvas de nivel, que representan la unión de los puntos que tienen la misma altitud.



Mapa

Modelo gráfico de la superficie terrestre donde se representan objetos espaciales y sus propiedades métricas, topológicas y atributivas.

Un mapa puede ser analógico (impreso sobre papel, por ejemplo) o digital (codificado en cifras, almacenado en un ordenador y presentado en una pantalla); existen mapas métricos, diseñados para representar distancias, superficies o ángulos y mapas topológicos, diseñados para representar vecindad, inclusión, conectividad y orden. En el contexto de los SIG, un mapa es la presentación de cualquier estructura de datos usada para reflejar cartográficamente una variable espacial (nominal o cuantitativa) independientemente del modelo de datos utilizado (vectorial o ráster).

Elementos de un mapa:

- Título: describe la finalidad del mapa y por tanto debe estar en un lugar que destaque.

- **Tamaño:** depende de la finalidad del mapa y de los elementos que se quieren representar.
- **Escala:** la elección de la escala se debe hacer en función de las informaciones que el mapa debe contener. La escala correcta depende de la resolución del dato original y del detalle que el usuario desee tener del mapa. Debe estar localizada en un lugar que destaque; además debe haber escala gráfica.
- **Leyenda:** la leyenda es una tabla que relaciona atributos (no espaciales) con sus entidades (espaciales). Los atributos pueden ser indicados visualmente por colores, símbolos o sombreados, según como esté definida la leyenda.
- **Localización:** un mapa es tanto más fiable cuando más está confrontado el objeto con el espacio que contiene. Debe tener un sistema de coordenadas que ubique el mapa.
- **Orientación:** se debe indicar dónde se encuentra el Norte del mapa.
- **Contraste de las tramas:** se utilizan diferentes tramas para la representación de distintas regiones en el mapa. Las tramas pueden estar compuestas por líneas o puntos o combinaciones de ambas. Para la representación de áreas irregulares se utilizan tramas de líneas y no varían mucho en el espacio y dirección.
- **Color:** variable visual más importante, fuerte, fácilmente perceptible e intensamente selectiva, es también el más delicado para ser manipulado y el más difícil de utilizar. Sirve para destacar algunos elementos, depende del énfasis que queramos darle. Hay colores más perceptibles que otros; destacan rojo, verde, amarillo, azul y púrpura. Pero hay colores ya determinados para algunos elementos del mapa según convenio.
- **Claridad y legibilidad:** la información buscada puede ser fácilmente encontrada, diferenciada de otras y memorizada sin esfuerzo; una buena legibilidad puede ser obtenida por la elección apropiada de líneas, formas, colores y por sus delineados precisos y correctos.

Metadatos

Información sobre las características de un conjunto de datos.

Open Database Connectivity (ODBC)

Es un estándar de bases de datos que hace posible acceder a cualquier dato desde cualquier aplicación.

Open Geospatial Consortium (OGC)

Se trata de un consorcio formado por 372 empresas públicas y privadas que se encargan de definir estándares dentro de los SIG y la Web con el objetivo de facilitar el intercambio de información geográfica.

Ortofoto

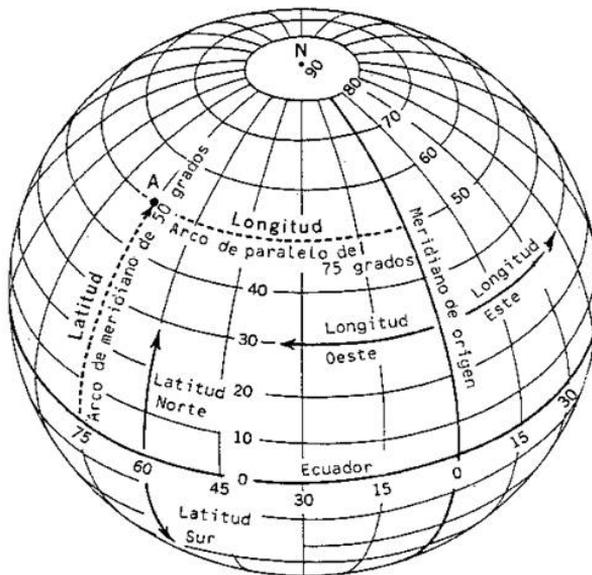
Imagen fotográfica vertical del terreno con el mismo valor cartográfico que un plano, porque ha sido sometida a un proceso de rectificación diferencial que permite realizar la puesta en escala y nivelación de las unidades geométricas que la componen.

Proyección cartográfica

Es la manera de transferir información desde un modelo de la Tierra, el cual representa una superficie en tres dimensiones (geoide), a otro de dos dimensiones como es el papel o la pantalla de un ordenador.

La característica principal de una proyección son sus deformaciones, como consecuencia de la imposibilidad de proyectar una superficie no desarrollable sobre un plano.

Proyección transversa de Mercator (UTM): Es una proyección cilíndrica transversal al eje de la tierra y conforme (mantiene los ángulos en el proceso de conversión cartográfica, es decir, conserva las formas o contornos pero no las áreas). La representación se realiza en husos de 6° de anchura (668 km.), de forma que el globo terráqueo queda cubierto por 60 husos numerados, del 1 al 60, de oeste a este desde el antimeridiano de Greenwich (180°).



Los husos se dividen de sur a norte en 20 bandas de 8° de amplitud, que se identifican con letras mayúsculas empezando por la C y terminando por la X, ambas inclusive (excepto Ch, I, LL, Ñ, O), desde 80° sur a 84° norte; los círculos polares quedan excluidos de esta proyección para evitar las zonas más deformadas; los polos se reali-

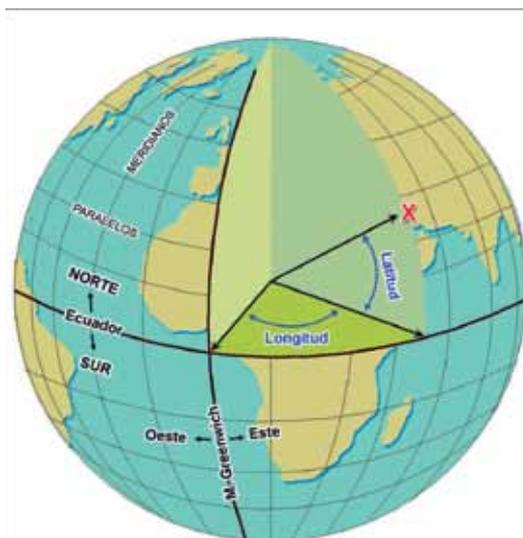
zan en proyección estereográfica. El resultado son 1200 zonas (60 husos x 20 bandas), cuya designación referencia en primer lugar el huso y en segundo la banda. España queda incluida en las bandas S y T de los husos 29, 30 y 31, excepto Canarias que se incluye en la banda R del huso 28.

A su vez cada huso está dividido en cuadrados de 100 Km de lado designados por dos nuevas letras mayúsculas y cada cuadrado en una retícula kilométrica, cuya referencia numérica aparece expresada en los márgenes del mapa.

Coordenadas geográficas

Latitud: longitud del arco de meridiano^{xiii} desde el paralelo 0° (Ecuador) Se toma por tanto como referencia el ecuador diferenciándose por ello latitud Norte o Sur. La equivalencia en metros no es igual para todos los paralelos. La distancia de 1° de latitud en el polo es de 111,7 km y en el ecuador es de 110,5 km.

Longitud: ángulo del arco que forma un punto con el meridiano de referencia. La longitud de 1° de longitud en el ecuador es de 111,29 km y en el polo es 0 km.



Representación Ráster

Un tipo de datos ráster es cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG ráster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.

^{xiii}. El sistema de meridianos y paralelos es un conjunto de líneas teóricas perpendiculares y paralelas, respectivamente, al ecuador.

Representación Vectorial

Las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras. En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar tienen los límites definidos.

Sistema de coordenadas

Marco de referencia espacial que permite la definición de localizaciones.

Pueden ser:

- Planas o coordenadas x,y (proyectadas a sistemas cartesianos, con ejes ortogonales).
- Esféricas o geográficas (longitud - latitud).

Teledetección

Técnica mediante la cual se obtiene información sobre la superficie de la Tierra a partir de un sensor o dispositivo remoto, que analiza los datos de energía electromagnética reflejadas o emitidas por las distintas partes de la superficie terrestre.

Vértices Geodésicos

Materialización sobre el terreno de puntos cuyas coordenadas y precisión se conocen mediante mediciones geodésicas y a través de cuya triangulación se puede fijar la localización de cualquier punto.

Anexo 2. Programas disponibles

Existe en el mercado un número importante de software SIG que provee de herramientas y funcionalidades para capturar, analizar y representar información espacial y ofrecerla al usuario final en diversos formatos web, móvil o convencional.

Estas herramientas deben tener capacidad para poder manejar los principales componentes de un software SIG:

- Herramientas para manejar bases de datos de gran capacidad.
- Herramientas para capturar, analizar y manejar información geográfica.
- Herramientas para crear y soportar consultas, análisis y visualización de todos los datos geográficos por parte del usuario final.
- Un entorno gráfico sencillo para un acceso fácil y rápido a todas las funcionalidades que puede ofrecer un SIG.

Para que un software SIG cumpla sus objetivos la información espacial que maneja debe poder ser transferida, procesada y mostrada de una manera sencilla y legible para los usuarios.

Dentro de esta industria existen numerosas empresas que desarrollan este tipo de software comercial, pero también existe un número importante de software libre que ofrece al profesional numerosas opciones para desarrollar un buen sistema de información geográfica.

Según las necesidades del usuario final existen diversos tipos de software SIG:

- Sistemas de gestión de bases de datos espaciales o geográficas (SGBD): se usan para almacenar información geográfica, analizarla, manipularla y consultarla de una manera sencilla y rápida. Esto se realiza mediante controladores ODBC^{xiv} que dan la capacidad de vincular, unir, indexar o agrupar datos geográficos.
- Servidores cartográficos: distribuyen mapas a través de internet, que tienen que estar sujetos a las normas OGC^{xv}, WFS^{xvi} y WMS^{xvii}.
- SIG de escritorio: se utilizan para editar, administrar, analizar y visualizar datos geográficos. Existen varios tipos:
 - ◊ Visor SIG: permite visualizar información geográfica, analizarla o consultarla.

^{xiv}. Es un estándar de bases de datos que hace posible acceder a cualquier dato desde cualquier aplicación.

^{xv}. Open Geospatial Consortium: se trata de un consorcio formado por 372 empresas públicas y privadas que se encargan de definir estándares dentro de los SIG y la Web con el objetivo de facilitar el intercambio de información geográfica.

^{xvi}. Web Feature Service: es el espacio o interfaz donde se realiza el intercambio de información del OGC.

^{xvii}. Web Map Services: produce mapas con las características especificadas por la OGC.

- ◊ Editor SIG: sirve para tratar información geográfica previa a cualquier publicación en cualquier medio ya que es necesario transformar los datos o analizarlos según las necesidades, ya sea digitalizar datos, georreferenciar información u ortoimágenes.
- ◊ SIG de análisis: permite analizar y tratar información geográfica.

Lo más usual en software SIG de escritorio es que esta tipología de SIG de escritorio esté combinada en una sola herramienta que permita visualizar, editar o analizar información espacial.

- Servidores SIG: cuenta con las mismas utilidades que un SIG de escritorio pero permite desarrollar algunas de las funcionalidades a través de Internet.
- Bibliotecas y extensiones espaciales: son funcionalidades específicas que se pueden usar para análisis espacial, lecturas de formatos específicos, visualizadores cartográficos o para implementar las especificaciones del OGC.
- Clientes Web SIG: permite visualizar datos, analizarlos y consultarlos a través de Internet o Intranet.
- SIG móviles: sirve para recoger datos en campo a través de dispositivos móviles y luego incorporar dicha información al SIG que se esté desarrollando.

2.1. Programas comerciales

Existe un número importante de software SIG desarrollado en empresas comerciales que permiten consultar, transferir, procesar y transformar información geográfica.

Los más importantes son los siguientes:

- ArcGIS: así denomina la empresa desarrolladora ESRI (Environmental Systems Research Institute) a su conjunto de productos SIG. Esta empresa desarrolla varias aplicaciones para el análisis, tratamiento o publicación de información geográfica englobadas en varias temáticas:
 - ◊ ArcGIS for Desktop: El paquete ArcGIS de escritorio es de los más utilizados en proyectos SIG; permite realizar geoprocесamientos, análisis de datos, edición de cartografía mediante diversas aplicaciones como ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene, ArcGlobe, etc.
 - ◊ ArcGIS for Server: permite distribuir y gestionar información geográfica por internet o intranet.
 - ◊ ArcGIS for Mobile: permite capturar información de campo por medio de cualquier dispositivo móvil, ya sea Smartphone o tabletas.
- Smallworld: se trata de un SIG dirigido a análisis de redes destinado para empresas dedicadas a la distribución de servicios como telecomunicaciones, redes de abastecimiento y servicios públicos.
- Integraph Geomedia Erdas: es un software de gestión SIG que permite el acceso a datos geoespaciales y cuenta con herramientas para realizar análisis

dinámicos, edición e intercambio de información.

- MapInfo: se trata de un software SIG dirigido al análisis y toma de decisiones y oportunidades de negocio.

2.2. Programas libres

En los últimos años el software libre ha experimentado un desarrollo importante hasta el punto de suponer una importante competencia para las empresas que desarrollan este tipo de productos. Han surgido innumerables programas SIG libres capaces de analizar y editar (MapWindow, FWTools, uDig, gvSig...) y tratar o visualizar (View-Finder, TatukGIS Viewer, ER Viewer, ArcExplorer, FreeView Geomatica de PCI Geomatics, Quantum GIS (QGIS), OpenMap) la información geográfica.

Sin duda, los más conocidos y completos del mercado libre de software SIG son los siguientes productos:

- gvSig: se trata de un proyecto de desarrollo SIG iniciado en 2004 por la Consejería de Infraestructuras y Transportes de la Generalitat Valenciana. Cuenta con las herramientas básicas de un SIG de escritorio como acceso a formatos vectoriales y ráster, bases de datos y servicios remotos. También cuenta con la extensión Mobile que permite el uso de dispositivos móviles para recogida de datos en campo. Es uno de los programas SIG gratuitos para usuarios avanzados de uso más extendido, especialmente en latinoamérica, ya que tanto el programa como sus manuales de uso están disponibles en español. Es un programa muy completo que permite realizar muchas operaciones: abrir archivos en múltiples formatos, transformaciones de sistemas de coordenadas, generar mapas, análisis espaciales, etc... Dado el interés de este software y su libre acceso, incluimos más adelante un tutorial para uso básico.
- SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses): se trata de un software libre de código abierto. Cuenta con herramientas e instrumentos de análisis. También tiene módulos de geoestadística, álgebra de mapas, tratamiento de ficheros ráster, modelos digitales del terreno, herramientas vectoriales.
- Map Server: es el servidor de cartografía por internet libre más extendido en internet.
- Google Earth: presenta la enorme ventaja de que permite ver imágenes de satélite muy recientes, sobre las que se pueden incorporar capas generadas por diversos programas.

Anexo 3. Guía para elaboración de visores cartográficos en salud pública

Para elaborar un visor cartográfico hay que tener en cuenta la información de que se dispone o se puede disponer, la utilidad que se le va a dar a esa información y que sea accesible para los profesionales que la van a utilizar en sus tomas de decisiones. Por tanto, hay que tener en cuenta tres aspectos fundamentales: el primero, las capas de información que se van a utilizar y cómo se van a organizar; en segundo lugar hay que evaluar las necesidades de los profesionales para elaborar un conjunto de herramientas funcionales y de fácil utilización y por último un diseño ágil y atractivo.

3.1. *Capas de información. Estructura de la información espacial para la salud pública*

Ya se ha comentado que el territorio o el espacio geográfico es la síntesis de infinidad de variables, por lo que cualquier esfuerzo cartográfico, como es el de diseñar un visor, debe centrar su primer interés en la selección y estructuración de la información.

En un SIG la información espacial se organiza en capas, cada una de las cuales contiene información espacial y alfanumérica relativa a un aspecto del territorio, ya sea del medio físico o del medio social (demografía, aspectos sociales, sanitarios, etc.)

Las capas que se utilicen en el visor destinado a la salud pública deberían estar estructuradas con dos criterios: temático (demografía, morbilidad, mortalidad, recursos, etc.) y geométrico (puntos -P-, líneas -L-, polígonos o superficies -S-, o capas ráster -R-). Este último aspecto es importante sobre todo a la hora de la visualización como se verá al hablar de diseño, pero si está previamente organizado será más fácil posteriormente. Una estructura posible puede ser la siguiente:

- Información territorial básica
 - Información gráfica. Su función básica es enriquecer desde el punto de vista gráfico la información que se va a representar:
 - ◊ Ortoimagen actualizada o series de ortoimágenes (puede ser interesante para analizar exposiciones anteriores al momento presente) [R]
 - ◊ Fondos gráficos: catastro, conjuntos ambientales, zonas verdes [R, P,L,S]
 - Información gráfica y de referencia espacial. Su función básica es poder referenciar geográficamente los fenómenos que se van a cartografiar, aunque suponen también un apoyo gráfico:
 - ◊ Mapa físico: altimetría [P y L], red hidrográfica [L], arbolado [S], etc. El conocimiento de estos elementos permite entender con más precisión muchos procesos de exposición de la población a tóxicos o contaminantes ambientales, así como definir sistemas de abastecimiento, saneamiento, recursos de esparcimiento, etc.
 - ◊ Callejero: ejes de calles y carreteras [L] y portales o puntos kilométricos [P]. Esta información es fundamental para georeferenciar muchos ele-

mentos de interés para la salud pública: focos de emisión, domicilios, residencias, etc. Es interesante disponer de una capa de líneas que una el portal con las calles o carreteras, que se refieren generalmente al eje y no a los márgenes, para poder medir distancias entre puntos utilizando la red viaria real.

- ◇ Red de transporte público: líneas y estaciones de metro, metro ligero, autobuses urbanos o interurbanos, ferrocarriles de cercanías, de media y larga distancia [P y L]. La accesibilidad por transporte público es una información clave para definir un espacio urbano.
- ◇ Zonificaciones administrativas y funcionales: zonas de salud; distritos postales; municipios, distritos municipales y barrios; zonificaciones estadísticas de distinto tamaño, como NUTS4, distritos, sectores y secciones censales; zonas de abastecimiento, etc. [S]. Esta información es clave para georreferenciar y también, mediante superposición de capas, para agregar datos espaciales en distintas unidades territoriales.

- Determinantes ambientales

- ◇ Establecimientos potencialmente peligrosos para la población y el medioambiente que por ello deben ser objeto de conocimiento, seguimiento y vigilancia como torres de refrigeración, industria química, mataderos y salas de despiece, y otras industrias y establecimientos que son objeto de inspección sanitaria como granjas escuela, perreras, parques acuáticos o zonas de baño [P].
- ◇ Registro de emisiones y fuentes contaminantes: complejos industriales que están obligados a informar sobre sustancias contaminantes emitidas al aire, agua y suelo y sobre las emisiones accidentales, emisiones de fuentes difusas y la transferencia de residuos fuera de los complejos industriales [P,R].
- ◇ Concentraciones atmosféricas de los tipos polínicos con mayor capacidad alergénica [P, R].
- ◇ Calidad del agua en las zonas de abastecimiento [S], en la red [L] y en los puntos de muestreo [P].
- ◇ Concentraciones atmosféricas de PM₁₀, SO₂, NO₂, CO y O₃ troposférico según los datos procedentes de las redes de control de calidad del aire [P,R].
- ◇ Inventario de suelos contaminados [S].

- Determinantes sociales y demográficos

- ◇ Recursos sociosanitarios: centros sanitarios, educativos, de mayores, de inmigrantes, otros centros asistenciales, farmacias, centros y servicios culturales, comerciales, etc. [P].
- ◇ Población: Número habitantes. Total de población por las demarcaciones territoriales disponibles y para los periodos de tiempo de interés pero con especial interés en los datos más recientes disponibles [S].

- ◊ Incremento poblacional: Evolución de la población expresada en porcentaje medio anual de incremento o decremento las demarcaciones territoriales disponibles y para los periodos de tiempo de interés pero con especial interés en los datos más recientes disponibles [S]. Población e incremento poblacional pueden ir en el mismo conjunto de capas.
 - ◊ Densidad de población: densidad de la población por las demarcaciones territoriales disponibles [S].
 - ◊ Estructura demográfica. Índices de dependencia de jóvenes, de mayores y total (jóvenes más mayores), índice de envejecimiento; proporción de masculinidad, de reemplazo y razón de progresividad. Se cartografían por las demarcaciones territoriales disponibles y con los datos más recientes disponibles [S].
 - ◊ Población inmigrante: total y por nacionalidades más relevantes (número y porcentaje); agrupación espacial de las distintas nacionalidades por las demarcaciones territoriales disponibles y para los periodos de tiempo de interés pero con especial interés en los datos más recientes disponibles [S].
 - ◊ Indicadores socioeconómicos: hacinamiento, desempleo, niveles adquisitivos, fracaso escolar por las demarcaciones territoriales disponibles y para los periodos de tiempo de interés pero con especial interés en los datos más recientes disponibles [S].
 - ◊ Asentamientos chabolistas: Núcleos de chabolas y chabolas dispersas [S]
 - ◊ Capas para el cálculo de población residente en área de influencia. Población residente por grupos de edad por portales [P] y secciones [S]. Sirve para calcular la población expuesta a cualquier situación o afectada por cualquier alerta a partir de un área de influencia. Previamente hay que estimar la población residente en cada portal a partir de la población residente en cada sección censal que es la mayor desagregación con la que se puede obtener esta variable.
- Estado de salud de la población
 - ◊ Morbilidad: casos puntuales y agregados de las enfermedades transmisibles y no transmisibles de mayor incidencia en el territorio considerado; casos esporádicos y asociados a brotes de enfermedades de transmisión hídrica, alimentaria, aérea y vectorial [P, S].
 - ◊ Mortalidad: por todas las causas, por causas externas, por tumores, por enfermedades del sistema circulatorio, por enfermedades del sistema digestivo, por enfermedades del sistema respiratorio, tasa de mortalidad infantil, neonatal (precoz y tardía) y post neonatal [P,S].
 - ◊ Cobertura de las vacunas a diversas edades [S].

- ◊ Espacial: se trata de una de las herramientas más útiles y más importantes de un visor cartográfico de salud pública. Con ella se puede crear áreas de influencia. Se puede estudiar, por ejemplo, la población que se podría ver afectada en torno a una fuente de emisión de contaminantes o los centros educativos o sanitarios que pudieran existir en torno a una industria química o algún otro elemento potencialmente peligroso para la población.
- Constructor de consultas: esta herramienta consiste en una calculadora lógica; el usuario puede elaborar sus propias consultas pudiendo ver los resultados tanto en una tabla como en el mapa, teniendo siempre perfectamente localizados los resultados de la consulta en el mapa.



- Gráficos: con esta herramienta se pueden obtener gráficos ya sean de tarta o de barras para tener una visión más sencilla de la estructura de la población o de la capa sobre la que se quiera ejecutar la consulta de gráfico.
- Dibujar y medir: con esta herramienta el usuario va a poder medir distancias o dibujar elementos en el mapa.
- Capturar imagen e Imprimir mapa: estas herramientas permiten disponer de todas las tareas realizadas en el visor en formato papel o exportarlas a otro documento.

3.3. Diseño

La característica principal que debe tener un visor cartográfico desde el punto de vista de su diseño es que debe ser intuitivo y de uso ágil para el usuario. Las herramientas deben ser accesibles y de fácil manejo.

Las herramientas principales son las que deben ir en primer lugar; para empezar a utilizar un visor primero 'cargar los mapas' en el 'listado de capas' junto con su leyenda; a partir de aquí ya se pueden 'identificar' los elementos del mapa y realizar di-

versas consultas como localizar alguna dirección postal o ejecutar alguna 'búsqueda espacial' o de cualquier otro tipo.

La información espacial para que sea clara y de fácil manejo debe estar perfectamente organizada dentro del SIG que se desarrolle y tener en cuenta aspectos muy sencillos pero importantes como el orden de las capas. En primer lugar, deben ir situadas aquellas que se refieran a un punto concreto del territorio, una localización exacta como un hospital, una torre de refrigeración o una empresa de biocidas; en segundo lugar las capas que estén formadas por líneas como la red fluvial o la red de transporte; por último las capas de polígonos como por ejemplo aquellas que proporcionan información acerca de la estructura demográfica de la información, capas ráster o imágenes de satélite o fotografías aéreas. La importancia de esta organización radica sencillamente en la visibilidad de todos los datos que se quieran mostrar en un visor, si en primer lugar se coloca una imagen de polígonos difícilmente se va a poder apreciar cualquier punto o línea del mapa.

Como se ve, con muy poco esfuerzo e inversión se puede construir una herramienta con posibilidades enormes. Con la información organizada en capas se brinda la posibilidad de estudiar diversos aspectos de un determinado territorio, como calcular la población que se pudiera ver afectada por un riesgo medioambiental y conocer las características de este grupo de población y así poder actuar de forma eficiente. Una mínima formación proporciona la pericia necesaria para manejar el visor. El mayor esfuerzo sin duda es el de mantener la información actualizada.

Referencias bibliográficas

1. Go with the flow. *Nature* 2011;476(7361):371
2. Rosen G. A history of public Health. Baltimore: The Johns Hopkins University Press; 1993.
3. Arteaga L. Miseria, miasmas y microbios. Las topografías médicas y el estudio del medio ambiente en el siglo XIX. *Geo-Crítica*. 1980; 29.
4. López Piñeiro JM. Gaspar Casal: descripción ecológica de la pelagra, primera enfermedad carencial. *Rev Esp Salud Pública* 2006; 80:411-5.
5. Armijo Rojas R. *Epidemiología básica en Atención Primaria de Salud*. Madrid: Díaz de Santos; 1993.
6. Grupo de trabajo FOCUS. Focus on field epidemiology. Volumen 1, Edición 1. University of North Carolina del Norte. [citado el 09-04-2012] Disponible en: http://cphp.sph.unc.edu/focus/index_esp.htm.
7. Department of Epidemiology. School of Public Health. UCLA. John Snow. [citado el 09-04-2012] Disponible en <http://www.ph.ucla.edu/epi/snow.html>.
8. Colimon KL. *Fundamentos de epidemiología*. Madrid: Díaz de Santos; 1990.
9. Lalonde. A new perspective on the Health of the Canadians. Ottawa: Minister of Supply and Services; 1974
10. Segura J et al. *Diagnóstico de salud ambiental del medio rural de la Comunidad de Madrid*. Vol 1 al 6. Madrid: Servicio Regional de Salud. Comunidad de Madrid;1990.
11. Organización Mundial de la Salud. Rapid assessment of sources of air, water, and land pollution. Geneva: WHO offset publication n° 62; 1982. [citado el 30-07-2012]. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/offset/WHO_OFFSET_62.pdf.
12. Goodchild MF. What is Geographic Information Science?, NCGIA Core Curriculum in GIScience. [citado el 05-06-2012] Disponible en: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>.
13. Vine MF, Degnan D, Hanchette C. Geographic Information Systems: Their Use in Environmental Epidemiological Research. *Journal of Environmental Health*. 1998; 61.
14. Dueker KJ. Geographical information systems and computer aided mapping. *Journal of the American Planning Association*. 1987; 53: 383-99.
15. Cowen D. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1988; 54 (11): 1551-5.
16. Bosque Sendra, J. *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Rialp; 1992.
17. Fernández de Arróyabe Hernández P. Las técnicas S.I.G. aplicadas al análisis de la distribución espacial de las Enfermedades de Declaración Obligatoria. *Boletín epidemiológico semanal*. 2004; 12(8):77-80.
18. Escobar F, Green J, Waters E y Williamson I Geographic information systems for the public health sector: a proposal for the research agenda. En: Flahault, A Toubiana L y Valleron AJ editors. *Geography and medicine*. Geomed'99. Paris: Elsevier; 2000. p.139-47.
19. Aránguez E, Avello A. Uso de herramientas de representación y análisis geográfico en Sanidad Ambiental. *Geosanidad*. 2001;3.
20. Eagleson S, Veenendaal B, Watkins R, Wright G, Plant A. Spatial algorithm for detecting disease outbreaks in Australia. *Serie Geográfica*. 2004-2005;(12): 39-55.

21. Jerrett M, Gale S, Kontgis C. Spatial Modeling in Environmental and Public Health. *Research Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2010; 7:1302-29.
22. Mei-Po Kwan. Geographies of Health. *Annals of the Association of American Geographers*. 2012; 102(5): 891-2.
23. Miranda ML, Edwards SE. Use of Spatial Analysis to Support Environmental Health Research and Practice. *N C Med J*. 2011;72(2):132-5
24. International Cartographic Association. [citado el 16/05/2012] Disponible en <http://icaci.org/>
25. Vázquez Maure F y Martín López J. *Lectura de Mapas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 1995.
26. Directiva INSPIRE (Infraestructure for Spatial Information in Europe) [citado el 15/05/2012] Disponible en <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>
27. Aportaciones y perspectivas de la Directiva INSPIRE. [citado el 21/05/2012] Disponible en: <http://www.orbemap.com/2007/02/aportaciones-y-perspectivas-de-la.html>
28. Consejo Superior Geográfico. Infraestructura de Datos Espaciales de España. Geoportal sobre metadatos de Información Geográfica. [citado el 31/05/2012] Disponible en : <http://metadatos.ign.es/>
29. INSPIRE Drafting Team "Data Specifications". Definition of Annex Themes and Scope. [citado el 15/05/2012] Disponible en:http://inspire.jrc.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/DataSpecifications/D2.3_Definition_of_Annex_Themes_and_scope_v3.0.pdf
30. NESDIS - National Environmental Satellites, Data and Information Services [citado el 12/04/2012] Disponible en:<http://www.nonprofitgis.org/gis101/layers.html>
31. De Meers MN. *GIS Modeling in Raster*. Chichester: John Wiley & sons; 2002.
32. Kim D, Overstreet Galeano MA, Hull A, Miranda ML. A Framework for Widespread Replication of a Highly Spatially Resolved Childhood Lead Exposure Risk Model. *Environ Health Perspect*. 2008; 116:1735–9.
33. Servicio Madrileño de Salud. Informe del estado de salud de la población de la Comunidad de Madrid. Madrid: Consejería de Sanidad. 2009. [citado el 27 de agosto de 2012] Disponible en: http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1161769238915&language=es&pagename=PortalSalud%2FPPage%2FPTSA_pintarContenidoFinal&vest=1161769238915
34. RECONO (Reconocimiento y Codificación de Direcciones Postales) del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. [citado el 26/04/2012] Disponible en:<http://www.madrid.org/recono2/>
35. El libro blanco de la Salud Pública de la Comunidad de Madrid. Un proyecto abierto. Madrid: Consejería de Sanidad y Consumo de la Comunidad de Madrid; 2004.
36. Joly F. *La cartographie*. Paris : Presses Universitaires de France ; 1976.
37. Cañada Torrecilla R, Vidal Domínguez, M.J. y Moreno Jiménez, A. Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. 2010. Pp. 691-715.
38. Vieira VM et al. Association between Residences in U.S. Northern Latitudes and Rheumatoid Arthritis: A Spatial Analysis of the Nurses' Health Study. *Environ Health Perspect*. 2010;118:957–61.

39. World Health Organization (WHO). Adolescent friendly health services. An agenda for change. Geneva: World Health Organization; 2002.
40. Gómez Delgado M, Díaz Castillo C, Escobar Martínez FJ, Rodríguez Espinosa VM, Salado García MJ. Caracterización de los riesgos ambientales para la salud. Puesta a punto de un SIG en dos distritos del suereste de Madrid. *Serie Geográfica*. 2004-2005 (12):11-37.
41. Aránguez Gilarranz J. Evolución de los usos del suelo en el Valle de Orosí entre los años 1945 y 2009. Proyecto fin de carrera. Universidad de Costa Rica.
42. Jardí M. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*. 1985;XIX: 41-68
43. World Health Organization (WHO). Environment and Health Information System. Water and Sanitation. [citado 05-06-2012] Disponible en: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/water-and-sanitation>.
44. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Informe sobre desarrollo humano 2006. Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Madrid: Ed. Mundi Prensa; 2006.
45. ORDEN SCO/1591/2005, de 30 de mayo, sobre el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo. BOE número 131, de 2 de junio.
46. Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad. Sistema de información geográfica de calidad sanitaria de las aguas -ATLANTIS-. [citado 15/05/2012] Disponible en <https://atlantis.msc.es/atlantis/index.html>
47. Dangendorf F, Herbst S, Reintjes R, Kistemann T. Spatial patterns of diarrhoeal illnesses with regard to water supply structures--a GIS analysis. *Int J Hyg Environ Health*. 2002;205(3):183-91.
48. Kistemann T, Dangendorf F, Schweikart J. New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2002; 205 (3): 169-81.
49. Barcellos C, Coutinho K, Pina MF, Magalhães M, Paola J. Health risk analysis of the Rio de Janeiro water supply using Geographical Information Systems. En: *Abstracts of GIS in Public Health*. San Diego: ESRI; 1998.
50. Barcellos C, Coutinho K, Pina MF, Magalhães M, Paola J Santos S. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas. *Cad. Saúde Pública*. 1998;14(3):597-605.
51. Gopal S, Sarkar R, Banda K, Govindarajan J, Harijan BB, Jeyakumar MB et al. Study of water supply & sanitation practices in India using geographic information systems: Some design & other considerations in a village setting. *Indian J Med Res*. 2009; 129:233-41.
52. Shittu O B, Akpan I, Popoola TOS, Oyedepo JA, Oluderu IB. Application of Gis-Rs in bacteriological examination of rural community water supply and sustainability problems with UNICEF assisted borehole: A case study of Alabata community, South-western Nigeria. *Journal of Public Health and Epidemiology* 2010; 2(9): 238-44.
53. Smith AH, Lingas EO, Rahman M. Contamination of drinking water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization* 2000;78(9):1093–103. [citado 29/05/2012] Disponible en:[http://www.who.int/bulletin/archives/78\(9\)1093.pdf](http://www.who.int/bulletin/archives/78(9)1093.pdf)
54. Manzurul Hassan M. Arsenic poisoning in Bangladesh: spatial mitigation planning with GIS and public participation. *Health Policy*.2005; 74:247–60.

55. Zhang J, Chen X, Parkpian P, Tabucanon MS, Mongkolsuk S. GIS Application on Arsenic Contamination and Its Risk Assessment in Ronphibun, Nakhorn Si Thammarat, Thailand. *Geographic Information Sciences* 2001; 7(2).
56. Gong G, Hargrave KA, Hobson V, Spallholz J, Boylan M, Lefforge D, O'Bryant SE. Low-level groundwater arsenic exposure impacts cognition: a project FRONTIER study. *J Environ Health*. 2011;74(2):16-22.
57. Ordóñez JM, Ferrer B, Pelaz C, García L, et al. Prevalencia de Legionella en torres de refrigeración de la Comunidad de Madrid. *Med Clin*. 2006;126(5):189-95.
58. Aránguez Ruiz E, Arribas García M, Estirado Gómez A, Abad Sanz I, Soto MJ. Sistemas de información geográfica en salud pública: su aplicación al programa de vigilancia y control de la legionelosis. *Rev salud ambient*. 2006; 6(1-2): 11-6.
59. Algarra Guijarro F, Añó Sais J, Castaño Ibernón B. Sistemas de información geográfica en salud pública. *Rev. salud ambient*. 2009;9(1).
60. Moya Martínez V, Adrián García F, Calafat Juan JM, Añó Sais J, Barberá Riera M, Guiral Rodrigo S. Estudio ambiental del brote de legionelosis en Torrevieja (2005). Aplicación de los sistemas de información. *Rev. salud ambient*. 2009;9(1).
61. Cózar JM. Principio de precaución y medio ambiente. *Rev. Esp. Salud Pública* 2005;79(2):133-44.
62. Addiss DG, Davis JP, LaVenture M, Wand PJ, Hutchinson MA, McKinney RM. Community-acquired Legionnaires' disease associated with a cooling tower: evidence for longer-distance transport of Legionella pneumophila. *Am J Epidemiol*. 1989;130(3):557-68.
63. Outbreak of legionellosis in a community. Report of an ad-hoc committee. *Lancet*. 1986;2(8503):380-3.
64. Garcia-Fulgueiras A, Navarro C, Fenoll D, Garcia J, Gonzales-Diego P, Jimenez-Bunuelas et al. Legionnaires' disease outbreak in Murcia, Spain. *Emerg Infect Dis*. 2003;9(8):915-21.
65. Brown CM, Nuorti PJ, Breiman RF, Hatchcock AL, Fields BS, Lipman HB et al. A community outbreak of Legionnaires' disease linked to hospital cooling towers: an epidemiological method to calculate dose of exposure. *Int J Epidemiol* 1999;28:353-9.
66. Bhopal RS, Fallon RJ, Buist EC, Black RJ, Urquhart JD. Proximity of the home to a cooling tower and risk of non-outbreak Legionnaires' disease. *BMJ*. 1991; 302(6773):378-83.
67. Aránguez Ruiz E, Soto MJ, Iriso A, De Paz C, García JF Sistemas de información geográfica y salud pública en la Comunidad de Madrid. *Serie geográfica*. 2004-2005; (12): 137-46.
68. Soto MJ, Aránguez E, Abad I, Cañellas S, Ordobás MA, García JF, Ramírez R. Vigilancia de la legionelosis mediante el empleo de un Sistema de Información Geográfica. *Boletín Epidemiológico Semanal*. 2005; 13(13):145-56
69. European Working Group for Legionella Infections (EWGLI). European guidelines for control and prevention of travel associated legionnaires' disease. [actualizado en 2005; citado el 15 de mayo de 2012] Disponible en: <http://osha.europa.eu/data/links/the-european-guidelines-for-control-and-prevention-of-travel-associated-legionnaires-disease>
70. Casas S, García A, Suárez S et al. La salud en la evaluación de impactos ambientales. Guía metodológica. Madrid: Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Serie De aeribus, aquis et locis nº 1. 2011.
71. Arribas García M, Aránguez Ruiz E, Hernández del Castillo J. Evaluación de impacto ambiental en salud. Oportunidad de uso de los SIG *Rev. salud ambient*. 2009;9(1)

72. Ghasemian M, Poursafa P, Amin MM et al. Environmental impact assessment of the industrial estate development plan with the geographical information system and matrix methods. *J Environ Public Health*. 2012;2012:8.
73. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Public Health Assessment. GUIDANCE MANUAL (Update) January 2005. Atlanta, Georgia: U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. [citado 05-06-2012] Disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/hac/PHAManual/toc.html>
74. Castellano-Calero C, Pezzi-Cereto MA, Fernández-Vázquez R, Martín-Olmedo P. Evaluación de Riesgos potenciales asociados a las captaciones de aguas de consumo que abastecen al Polígono Industrial de Casares (Málaga). *Rev. Salud Ambient*. 2012;12(1):
75. Arribas García M, Aránguez Ruiz E, Ordóñez Iriarte JM, Hernández del Castillo J, Manzanal Gadea D. Estimación de la población expuesta mediante un sistema de información geográfica. *Rev. salud ambient*. 2007;7(1)
76. Martí Boscà JV, Ordóñez Iriarte JM, Aránguez Ruiz E, Barberá Riera M (ed) Cambio global España 2020/2050. Cambio climático y salud. Madrid: FGUCM-ISTAS-SESA; 2012.
77. Lindley SJ, Handley JF, McEvoy D, Peet E, Theuray N. The role of spatial risk assessment in the context of planning for adaptation in UK urban areas. *Built Environ*. 2007; 33: 46–69
78. Tomlinson CJ, Chapman L, Thornes JE and Baker CJ. Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: a case study for Birmingham, UK. *International Journal of Health Geographics*. 2011; 10: 42.
79. Vivier PM, Hauptman M, Weitzen SH, Bell S, Quilliam DN, Logan JR. The important health impact of where a child lives: neighborhood characteristics and the burden of lead poisoning. *Matern Child Health J*. 2011;15(8):1195-202.
80. García SI, De Pietri D, Bovi Mitre G, Villaamil Lepori Edda. Evaluación de exposición infantil a plomo ambiental en sitios contaminados. *Rev. salud ambient*. 2009;9(1)
81. Espinosa C, Rojas M, Seijas D. El sistema geográfico de información y las concentraciones de plomo en sangre en una población infantil venezolana. *Salud Publica Mex*. 2006;48:84-93
82. Miranda ML, Dolinoy DC, Overstreet MA. Mapping for prevention: GIS models for directing childhood lead poisoning prevention programs. *Environ Health Perspect*. 2002; 110: 947–53.
83. Proyecto multicéntrico MEDEA sobre desigualdades en salud. [citado 05-06-2012] Disponible en <http://www.proyectedeada.org/medea.html>
84. Borrell C, Marí-Dell'olmo M, Serral G, Martínez-Beneito M, Gotsens M; MEDEA Members. Inequalities in mortality in small areas of eleven Spanish cities (the multicenter MEDEA project). *Health Place*. 2010; 16(4):703-11.
85. Domínguez-Berjón MF, Gandarillas A, Segura del Pozo J. Census tract socioeconomic and physical environment and cardiovascular mortality in the Region of Madrid (Spain) *J Epidemiol Community Health*. 2010; 64:1086-93.
86. Dominguez-Berjon MF, Borrel C, Cano-Serral G. Construcción de un índice de privación a partir de datos censales en grandes ciudades españolas (Proyecto MEDEA) *Gac Sanit*. 2008; 22 (3):179-87.
87. Esnaola S, Montoya I, Calvo M, Aldasoro E, Audicana C, Ruiz R, Ibáñez B. Atlas de mortalidad en áreas pequeñas de la CAPV (1996-2003). Vitoria-Gasteiz: Departamento de Sanidad y Consumo, 2010. [actualizado en 2010; citado 29/05/2012] Disponible en : <http://www>.

88. Ballester F, Íñiguez C, Sáez M, Pérez-Hoyos S, Daponte A, Ordóñez JM, et al. Relación a corto plazo de la contaminación atmosférica y la mortalidad en 13 ciudades españolas (Proyecto EMECAM-EMECAS). *Med Clin*. 2003;121(18):684-9.
89. Krewski D, Burnett RT, Goldberg M et al. Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality, Phase II: Sensitivity Analysis; Cambridge, MA: Health Effects Institute; 2000.
90. Galán Madruga D, Fernández Patier R, Díaz Ramiro E y Herce Garraleta MD. Estudio de las concentraciones de ozono superficial en la atmósfera de la Comunidad de Madrid usando muestreadores pasivos. *Rev. salud ambient*. 2001; 1(1): 20-9.
91. Field RA, Pérez Ballesta P, Baeza Caracena A, Nikolova I, Connolly R, Cao N, Gerboles M, Buzica D et al. Co-Autores: Fernández-Patier R, Galán Madruga D, García Dos Santos S, Santamaría Ballesteros J. Population Exposure to Air Pollutants in Europe (PEOPLE). Methodological Strategy and Basic Results. EUR 21810 EN. 2005
92. Perez Ballesta P, Fernandez Patier R, Field R, Galan D, Baeza A, Nikolova I, Connolly R, Cao RN, De Jaeger E, Gerboles M, Buzica D, Garcia dos Santos S, Santamaria Ballesteros J. People campaign in Madrid: Assessment of outdoor, Indoor and personal exposure to benzene. *Proceedings of Urban Air Quality 2005 (Chemical composition & exposure section)*: 29-31.
93. Bomboí MT, Pérez AM, Rodríguez B, Galán D, Díaz A. y Fernández Patier R. Spatial and temporal distribution of volatile organic compounds in the area of Madrid (Spain) during a year. *FEB*. 2002.; 11(8): 437-40.
94. Nuvolone D et al. Geographical information system and environmental epidemiology: a cross-sectional spatial analysis of the effects of traffic-related air pollution on population respiratory health. *Environmental Health*. 2011;10:12.
95. García-Pérez J, Pollán M, Boldo E, Pérez-Gómez B, Aragonés N, Lope V et al. Mortality due to lung, laryngeal and bladder cancer in towns lying in the vicinity of combustion installations. *Sci Total Environ*. 2009; 407(8):2593-602.
96. Rovira Ricart E, Cuadras Andreu A. Prevalencia de síntomas de asma en los escolares de las poblaciones cercanas al complejo químico de Tarragona. *Rev. salud ambient*. 2011; 11: 26-7
97. Zscheppang A, Manes F, La Torre G, Boccia A, Trueman S, Sarigiannis D, Pavlos K, Artiñano B, Perrino C, Fernández Patier R, Rigby M, Jankovici S, Kirch W. Methodology for measuring environmental health within Europe. Health Risk from Environmental Pollution Levels in Urban Systems (HEREPLUS). *Italian Journal of Public Health*. 2008; 5: 285-7.
98. López Martín E, Posada de la Paz M, Salvador Martínez P, García dos Santos S, Morillo Gómez P, Ramos Díaz MC, Artiñano Rodríguez de Torres B y Fernández Patier R. Methodology used for Health risk assessment in the HEREPLUS Project: Madrid results. V Reunión Española de Ciencia y Tecnología de aerosoles. RECTA 2011, Madrid.
99. López Martín E, Posada de la Paz M, Salvador Martínez P, Morillo Gómez P, García dos Santos S, Ramos Diaz MC, Artiñano Rodríguez de Torres B y Fernández Patier R. Health Risk from Environmental Pollution Levels in Urban Systems (HEREPLUS project): Madrid Preliminary results. HENVINET – Health and Environmental Network. 2010. Bruselas.
100. Maantay J. Asthma and air pollution in the Bronx: Methodological and data considerations

- in using GIS for environmental justice and health research. *Health and Place*. 2007; 13 (1):32-56.
101. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. BOE nº 25 de 29 de enero.
 102. Vilas Herranz et al. *Calidad del ambiente en espacios interiores*. Madrid: Dirección General de Ordenación e Inspección; 2012. [Actualizado en marzo de 2012, citado 12/06/2012] Disponible en: <http://www.madrid.org/>
 103. Wu J et al. Automated time activity classification based on global positioning system (GPS) tracking data. *Environ Health*. 2011;10: 101.
 104. Hoek G et al. A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution. *Atmospheric Environment*. 2008; 42: 7561–78.
 105. Kwan MP. The Uncertain Geographic Context Problem. *Annals of the Association of American Geographers*. 2012; 102(5): 958-68

Índice de tablas

Tabla 1.	Procesos de geocodificación en 18 condados de Carolina del Norte....	37
Tabla 2.	Distribución de la población estudiada según las fuentes de exposición, el sexo y los valores de plomo en sangre (Valencia, Venezuela)	122
Tabla 3.	Porcentaje de población expuesta a concentraciones de NO ₂ superiores a los valores límite de protección a la salud humana	130
Tabla 4.	Niveles de biomarcadores y niveles de inmisión individualizados	140
Tabla 5.	Riesgo relativo de diversos tipos de cáncer en departamentos “expuestos”. Buenos Aires (Argentina).....	154
Tabla 6.	Tasas de morbi-mortalidad según zonas residenciales de exposición a la polución industrial en base a la sección censal. Cartagena 1997-1999.....	168
Tabla 7.	Riesgo asociado a la influencia de la calidad del aire sobre la salud....	174
Tabla 8.	Coeficiente de correlación (r) entre precipitación y porcentaje de casos mensuales de malaria en la cuenca del río Purus durante el período de 2003 a 2006. Brasil.....	184
Tabla 9.	Incorporación de los SIG a los programas de prevención y control de plagas y vectores urbanos. Madrid (España).....	188
Tabla 10.	Concentraciones de Pentaclorofenol (PCF) medidas en aire a varias distancias de la planta de tratamiento de maderas en las dos investigaciones. East Point. Georgia (USA).....	209
Tabla 11.	Concentración de Pentaclorofenol PCF en orina de los participantes (con y sin corrección de creatinina) y en aire de la muestra más cercana a la vivienda. East Point. Georgia (USA)	210
Tabla 12.	Concentración de Pentaclorofenol (PCF) en orina de residentes que viven cerca de la Planta de tratamiento de maderas. Comparación con la población general. East Point. Georgia (USA).....	211

Índice de figuras

Figura 1.	Mapa original de John Snow. Fuentes de agua y casos de cólera durante la epidemia en Londres de 1854	21
Figura 2.	Esquema del abastecimiento y saneamiento de un municipio rural de la Comunidad de Madrid	23
Figura 3.	Distancia reducida	32
Figura 4.	Errores de digitalización	35
Figura 5.	Modelos de datos	35
Figura 6.	Dualidad del dato geográfico. Espacio y atributos	39
Figura 7.	Dualidad del dato geográfico. Distribución espacial y estadística	39
Figura 8.	Estructura de la información espacial en capas	41
Figura 9.	Diagrama funcional de un SIG distribuido	43
Figura 10.	Protección de datos personales. Ubicación real de los puntos	44
Figura 11.	Protección de datos personales. Ubicación aleatoria de los puntos en las secciones censales	45
Figura 12.	Protección de datos personales. Número de casos por sección censal	45
Figura 13.	Protección de datos personales. Interpolación	46
Figura 14.	Protección de datos personales. Elipse de distribución de puntos	47
Figura 15.	Protección de datos personales. Ubicación de casos en áreas de influencia	47
Figura 16.	Representación de una variable cuantitativa. Diferentes formas en el establecimiento de intervalos	54
Figura 17.	Mapa topográfico	57
Figura 18.	Variables cualitativas estructuradas	57
Figura 19.	Variables cualitativas agrupadas	58
Figura 20.	Variables cualitativas múltiples en mapas de puntos	58
Figura 21.	Variables cuantitativas. Color creciente	59
Figura 22.	Variables cuantitativas. Color decreciente	59
Figura 23.	Variables cuantitativas con eje de corte	60
Figura 24.	Variables cuantitativas. Valor cero	61
Figura 25.	Unidad espacial modificable	62
Figura 26.	Mapas de puntos. Centro medio y dispersión	66
Figura 27.	Agregación espacial de una distribución de puntos	67
Figura 28.	Densidad de puntos	68
Figura 29.	Variograma	70
Figura 30.	Diferencias en interpolación	71

Figura 31.	Autorregresión espacial.....	72
Figura 32.	Análisis de mapas de líneas. Zona de estudio.....	73
Figura 33.	Análisis de mapas de líneas. Población de estudio.....	74
Figura 34.	Análisis de mapas de líneas. Estudio de accesibilidad.....	75
Figura 35.	Análisis de mapas de líneas. Isócronas y población.....	75
Figura 36.	Análisis de la forma de un polígono.....	77
Figura 37.	Autocorrelación espacial.....	78
Figura 38.	Agregaciones espaciales de variables cuantitativas.....	79
Figura 39.	Significación estadística de agregación de casos.....	80
Figura 40.	Agregación espacial de valores extremos.....	80
Figura 41.	De puntos a polígonos. Polígonos de Thiessen.....	82
Figura 42.	De polígonos a puntos. Centroides.....	83
Figura 43.	Superposición de capas. Capas originales.....	84
Figura 44.	Superposición de capas. Generación de áreas de influencia.....	84
Figura 45.	Superposición de capas. Recorte.....	85
Figura 46.	Superposición de capas. Cálculo de tasas según distancia a la fuente.....	85
Figura 47.	Diarreas y abastecimiento de agua en el Distrito del Rhin-Berg. Alemania.....	94
Figura 48.	Sistema de abastecimiento de agua de Río de Janeiro.....	94
Figura 49.	Análisis de mapas de puntos en un brote epidémico de origen ambiental.....	100
Figura 50.	Análisis de proximidad. Investigación en brotes de origen ambiental.....	101
Figura 51.	Dispersión de exposiciones, centro de gravedad de los puntos de exposición y caso central.....	102
Figura 52.	Elipse de dispersión direccional.....	103
Figura 53.	Instalaciones de riesgo y su relación con la elipse de dispersión de los puntos de exposición.....	104
Figura 54.	Análisis de densidad de puntos de exposición en un área muy extensa.....	105
Figura 55.	Ejemplo de uso de SIG para la evaluación de salud pública.....	110
Figura 56.	Rosa de los vientos.....	111
Figura 57.	Superposición de capas. Selección de secciones censales en área de influencia.....	112
Figura 58.	Superposición de capas. Selección de portales en área de influencia.....	113
Figura 59.	Superposición de capas. Selección de instalaciones vulnerables en	

	área de influencia.....	114
Figura 60.	Isla de calor urbana. Birmingham.....	116
Figura 61.	Capas de exposición y vulnerabilidad.....	117
Figura 62.	Capa de riesgo Birmingham.....	117
Figura 63.	Ubicación geográfica de las fuentes de emisión de plomo y áreas de influencia. Valencia. Venezuela.....	121
Figura 64.	Plomo. Mapa de riesgo.....	123
Figura 65.	Atlas de mortalidad en áreas pequeñas de la C.A. del País Vasco. Bilbao. Mujeres. Tumores malignos. 1996-2003.....	127
Figura 66.	Asociación entre mortalidad y contaminación atmosférica por partículas.....	129
Figura 67.	Exposición a la contaminación atmosférica. Ozono.....	131
Figura 68.	Diferencias de exposición en función de las distancias a vías de tráfico en el área de Pisa-Cascina.....	132
Figura 69.	Justicia ambiental en el Bronx.....	134
Figura 70.	PM2,5. Promedio mensual de los valores medio diario y máximo horario diario en los meses de febrero y abril.....	137
Figura 71.	Concentración de contaminante en matriz biológica por domicilio de los individuos de la muestra.....	139
Figura 72.	Predicción de la variable “Máximo lag 1 a 3” para uno de los días de toma de muestra.....	139
Figura 73.	SINAC. Evolución de las determinaciones notificadas.....	143
Figura 74.	Municipios con zonas de abastecimiento notificadas en SINAC.....	144
Figura 75.	Número de determinaciones de <i>E.Coli</i> por municipio. SINAC. Año 2011.....	147
Figura 76.	Número de determinaciones de Arsénico por municipio. SINAC. Año 2011.....	148
Figura 77.	Valor medio de pH por municipio. SINAC. Año 2011.....	148
Figura 78.	Distribución de los casos de plombemia en un sitio contaminado. Argentina.....	152
Figura 79.	Distribución de los casos de plombemia según los factores de exposición.....	152
Figura 80.	Representación del índice compuesto de salud. Provincia de Buenos Aires por Departamentos.....	154
Figura 81.	Cuenca Matanza Riachuelo. Estratificación del territorio en sitios aptos y no aptos para residir.....	156
Figura 82.	Zona de estudio. Complejo químico de Tarragona.....	160
Figura 83.	Prevalencia de sibilantes el último año por zona de estudio y grupo de edad. Complejo químico de Tarragona.....	161

Figura 84.	FEV1 de los escolares residentes en las diferentes zonas de estudio. Complejo químico de Tarragona	162
Figura 85.	Mapa de la ciudad de Cartagena (España).....	166
Figura 86.	Mortalidad respiratoria e ingresos isquémico-cardiacos por secciones censales. Cartagena (España) 1997-1999.....	167
Figura 87.	Modelo estadístico. Cartagena (España)	168
Figura 88.	Regla. Polígono experimental.....	172
Figura 89.	Regla. Porcentaje de asma bronquial por consultorios médicos.....	175
Figura 90.	Regla. Aplicación del Índice de Calidad del Aire	175
Figura 91.	Regla. Riesgo contaminación atmosférica- asma bronquial	176
Figura 92.	Localización de la cuenca del río Purus (Brasil)	181
Figura 93.	Promedio mensual de NDVI en la cuenca del río Purus entre enero de 1981 y diciembre de 2006	182
Figura 94.	Porcentaje de casos de malaria según mes de ocurrencia entre 2003 y 2006 y el valor promedio de NDVI en las tres regiones de la cuenca del río Purus (Brasil).....	183
Figura 95.	Porcentaje de casos de malaria por mes entre 2003 y 2006, y promedio de precipitación mensual en las tres regiones de la cuenca del río Purus (Brasil).....	183
Figura 96.	Madrid. Censo de palomas 2008 y avisos ciudadanos 2003-2008	190
Figura 97.	Ratas y cucarachas; priorización de barrios Madrid. 2012	191
Figura 98.	Girona. Legionelosis. Casos e instalaciones de riesgo	198
Figura 99.	Girona. Legionelosis. Área de influencia.....	199
Figura 100.	Girona. Infraestructura de abastecimiento de agua.....	200
Figura 101.	Girona. Datos de un abastecimiento	200
Figura 102.	Vertido de fuel y abastecimientos potencialmente afectados.....	201
Figura 103.	Girona. Parámetros de seguimiento de abastecimientos de agua.....	202
Figura 104.	Girona. Clases de abastecimiento	203
Figura 105.	Girona. Meses con temperaturas medias mínimas mayores de 10°C	204
Figura 106.	East Point, Georgia. Áreas establecidas para la evaluación de la exposición	207

SERIE
DE AERIBUS, AQUIS ET LOCIS

Nº 1. LA SALUD EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.
GUÍA METODOLÓGICA

Nº 2. SALUD Y TERRITORIO.
APLICACIONES PRÁCTICAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
PARA LA SALUD AMBIENTAL



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE SANIDAD AMBIENTAL

www.sanidadambiental.com