

WAPPIING

Revista Internacional de Ciencias de la Tierra

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

MEDIO AMBIENTE

TELEDETECCIÓN

CARTOGRAFÍA

CATASTRO

TURISMO



Geotronics y Trimble: Precisión, Tecnología y Fiabilidad.

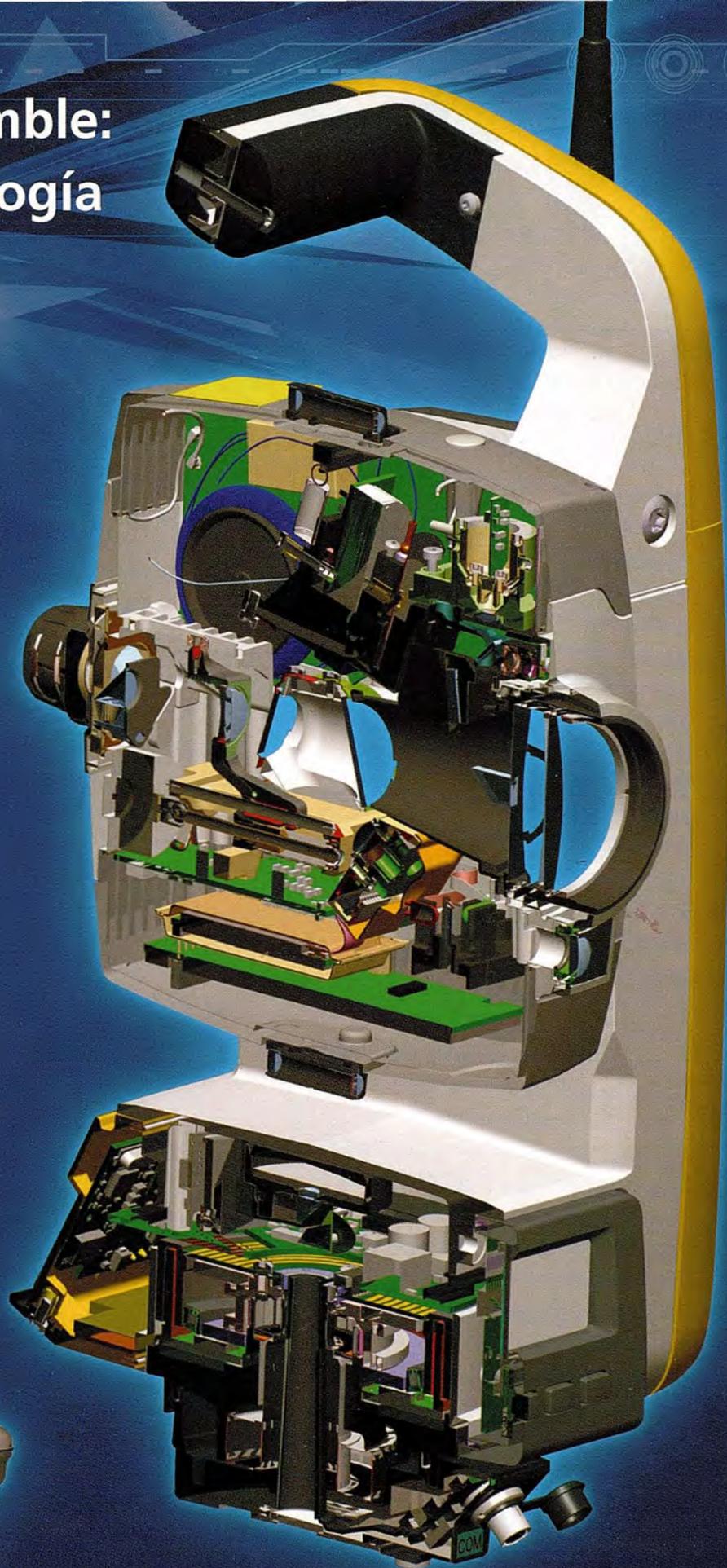
Geotronics es Distribuidor Oficial de Trimble Survey para la zona centro de España. Trimble está **a la vanguardia de la Tecnología desde hace más de 60 años.** **Geotronics** le acerca las soluciones Trimble para obtener los mejores resultados en sus proyectos.

Venta de instrumentos topográficos y accesorios

Servicio de equipos y configuraciones en alquiler

Servicio técnico oficial autorizado Trimble

Servicio de soporte postventa y formación



Geotronics, S.L. Calle Dublín, 1, planta 1ª
Polígono Európolis 28230 Las Rozas (Madrid) Tel. + 34 902 30 40 75
Fax. + 34 916 370 074 - www.geotronics.es - geotronics@geotronics.es



MAPPING

COMITE CIENTIFICO

PRESIDENTE DE HONOR:

D.Rodolfo Nuñez de la Cuevas

EDITOR JEFE.

D.José Ignacio Nadal Cabrero

EDITOR:

D. Andres Seco Meneses

Universidad Pública de Navarra, España

MIEMBROS.

D. Javier González Matesanz

Instituto Geográfico Nacional, España

D.Benjamín Piña Paton

Universidad de Cantabria, España

D. Andrés Díez Galilea

Universidad Politécnica de Madrid, España

D.Stéphane Durand

École Supérieure de Geomètres

Et Topographes, Le Mans, Francia

Dña. Emma Flores

Instituto Geografico, El Salvador

Dña.Tatiana Delgado Fernández

Grupo Empresarial Geocuba, Cuba

D. Luis Rafael Díaz Cisneros

Cesigma, Cuba

Dña. Sayuri Mendes

Instituto de Geografía Tropical, Cuba

Dña.Rocío Rueda Hurtado

Universidad de Morelos, México

Dña. Maria Iniesto Alba

Universidad de Santiago, España

Dña.Cleópatra Magalhaes Pereira

Universidad de Oporto, Portugal

D. Javier García García

Instituto Geográfico Nacional, España

D. Jorge Delgado García

Universidad de Jaen

SUMARIO

6 El artículo astronómico de Jorge Juan

16 Diseño de una solución cartográfica para móviles en zonas de montaña. Aplicación para el Parque Natural del Montseny

26 Sincronismo entre dos procedimientos GNSS. Levantamiento del arroyo de río seco en Almonte. Huelva

34 Estudio toponímico del área de Alqueva (Badajoz, Extremadura)

46 Hidrología de trazadores en la gestión ambiental de yacimientos de petróleo Onshore

81 Bases para el Manejo Energético Ambiental del sector costero de la cuenca del río Sevilla del municipio Guamá en apoyo al desarrollo local sostenible

90 Dos costas, un solo mundo. Huelva, el almirante Don Cristóbal Colón y el Caribe

92 Perspectivas de los análisis espacial en la gestión del agua en aguas de La Habana

Foto Portada: Planisferio de Tolomeo, o el mecanismo (es decir los movimientos) de las órbitas celestes según las hipótesis de Tolomeo presentado en una vista plana. Andreas Cellarius (1596-1665). Atlas Coelestis seu Harmonia Macrocosmica. Amsterdam 1660.

Edita: Revista Mapping, S.L. **Redacción, administración y publicación:** C/ Hileras, 4 Madrid 28013 -Tel. 91 547 11 16 - 91 547 74 69 www.mappinginteractivo.com. E.mail: mapping@revistamapping.com **Diseño Portada:** R&A MARKETING

Impresión: GRÁFICAS MONTERREINA ISSN: 1.131-9.100 **Dep. Legal:** B-4.987-92

Los trabajos publicados expresan sólo la opinión de los autores y la Revista no se hace responsable de su contenido.

El artículo astronómico de Jorge Juan

Mario Ruiz Morales

Centro Nacional de Información Geográfica & Universidad de Granada, España

Aunque el insigne marino Jorge Juan de Santacilia (1713-1773) fuese un autor prolífico, han trascendido más dos de sus obras: El Examen Marítimo (1771) y Las Observaciones Astronómicas y Físicas (1748), que redactó conjuntamente con Antonio de Ulloa y de la Torre-Giralt (1716-1795), otro marino excepcional. Del resto de su producción bibliográfica se ha seleccionado, en esta ocasión, un opúsculo¹ astronómico y póstumo que se imprimió en Madrid (Imprenta Real de la Gaceta.1774), con un título ciertamente extenso: Estado de la Astronomía en Europa, y juicio de los fundamentos sobre que se erigieron los Sistemas del Mundo, para que sirva de guía al método en que debe recibirlos la Nación, sin riesgo de su opinión, y de su religiosidad. Una de las copias se conserva en la Biblioteca Nacional bajo la signatura siguiente: A⁸, B-F⁴.

El texto de Jorge Juan comienza con una sucinta definición de la Astronomía, cargada de sentido y prudencia, como prueba su expresa referencia a la religión y al rey:

“La Astronomía ha sido en todos los tiempos considerada por una de las Ciencias más útiles e instructivas. Ella es la que ha reglado, regla y mide las horas, días, meses, años y siglos: la que nos ha dado a conocer los fenómenos celestes, sacándonos de los temores y espantos con que aquellos nos afligían: la que ha enseñado a los hombres a surcar los Mares más desconocidos y peligrosos; y por último, ella es la que nos abrió camino para extender por todo el Orbe la Religión y las Armas de nuestro Soberano”.

A pesar de que el título de su trabajo le obligaba a ser breve cuando se refiriera a la astronomía antigua, sorprende que obviara cualquier referencia a Egipto, Mesopotamia y Grecia, salvo cuando menciona las dificultades que se tuvieron que vencer al modificar el calendario y establecer el definitivo del papa Gregorio XIII. Jorge Juan recuerda como el pontífice pidió la protección² de todos los “Príncipes Católicos” y el dictamen de sus astrónomos: “de suerte, que con el regla-

mento que estos hicieron, fundado en las más exactas observaciones, se ha continuado, y se puede continuar sin error sensible por muchos siglos”.

En la introducción de su artículo no podía faltar la referencia a la aplicación náutica y geodésica de la astronomía, dada la experiencia al respecto del protagonista; señalando con evidente acierto que gracias a ella se aventuraron los marinos “a cruzar los anchurosos Mares”, puesto que el empleo tan socorrido y útil de la brújula no resultaba suficiente y “se hacía preciso el conocimiento perfecto del cielo y del movimiento de los astros, para observar y determinar las latitudes”. De igual modo señaló la importancia del manejo de los instrumentos de observación y el de las tablas diarias de la declinación solar, para borrar “los límites que en Cádiz puso Hércules, para establecernos en lo más remoto de América”.

En cuanto a la longitud, manifestaba Jorge Juan la secular imposibilidad de evaluarla con la fiabilidad debida, para apuntar acto seguido “Esta pa-



Figura 1. Esfera armilar, dibujada por Antonio Palomino de Castro y Velasco (1655 – 1726). ALEGORIA DE LAS CIENCIAS Y LAS ARTES. Biblioteca Nacional. Madrid

rece reservada para estos siglos, en que el estudio y aplicación en las Academias ha llegado al grado más sublime. Harrison tiene sobre el asunto en expectación a toda la Europa: ha ideado un cronómetro que no discrepa del movimiento medio del Sol ni un minuto en muchos meses". La mención de Jorge Juan al genial descubrimiento del relojero inglés, merece un comentario añadido. Y es que la solvencia del marino, sobre el particular, se puso de relieve cuando el gobierno español le pidió que emitiera un informe al respecto.

La respuesta³ a la petición del Ministro de Marina e Indias, Julián de Arriaga (sustituto de Ensenada), la firmó Jorge Juan en Madrid el 12 de abril de 1765, probando que sí estaba al tanto del problema de la longitud. He aquí parte del mismo, concretamente la que se refiere a los experimentos realizados con el cuarto cronómetro, que había construido Harrison cuatro años antes, durante la travesía que se inició en Portsmouth, con destino a Jamaica, el 18 de noviembre de ese mismo año:

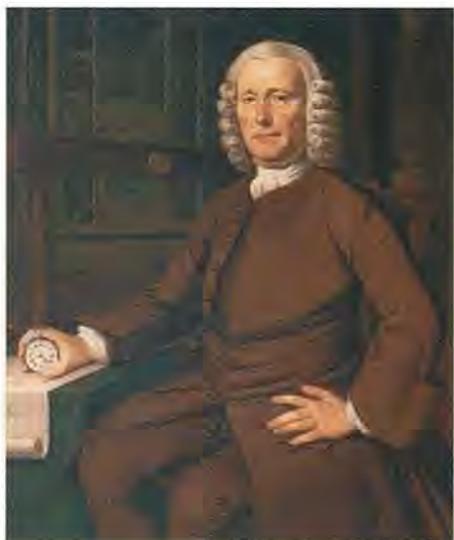


Figura 3. John Harrison y su cronómetro H-4 (1755)

«El cronómetro se puso en una caja segura con cuatro llaves, una de ellas llevaba Harrison, otra el gobernador Lytelton, otra el capitán Digges y otra el primer teniente del navío, con orden expresa de que no se abriera sin concurrir los cuatro que debían dar certificación de haberse procedido con la legalidad necesaria. Antes de salir de Portsmouth se tomaron las alturas correspondientes⁴ del Sol para arreglar el cronómetro por M. Robertson, profesor de matemáticas, en presencia de Harrison, el gobernador Lytelton y del capitán, y teniente del navío con el Comisario del Puerto, Hughes, y el matemático Juan Robinson; se firmaron y sellaron dichas observaciones y se remitieron al Almirantazgo. El matemático Robinson se mandó embarcar en el propio navío para celar el todo, y que llegado a Jamaica pudiese tomar las alturas correspondientes del Sol, y observar la longitud de los satélites de Júpiter, a fin de comparar con la

que diese el cronómetro; pues no era asunto de poderse fiar de la signada por las cartas, mayormente cuando Harrison pretendía aún mayor exactitud de cuanta hasta ahora se ha podido imaginar, siendo acreedor a los premios que se han ofrecido sobre el asunto... Puede ser que ahora en los principios no condesciendan los ingleses a participarnos el secreto, pero es seguro que después de las próximas experiencias no puedan evitarlo. Las medidas que será preciso tomar son de que se vayan a su tiempo dos o tres relojeros españoles de los que se conocen aplicados, a que aprendan con el mismo Harrison, procurando contentar a este; pues aunque llegue el caso de que nos vendan los cronómetros, no es esto suficiente; es preciso que haya después quien los tenga limpios y corrientes; porque en esto consiste el beneficio; y que si llegase el caso que se rompa una rueda, haya quien la sepa hacer de nuevo».

A pesar del avance tan considerable que supuso el cronómetro de John Harrison (1693–1776) para solucionar el problema de "echar el punto", todavía era necesaria la intervención de la astronomía, tal como recordaba Jorge Juan con estas eruditas palabras: "...porque este mide solamente el tiempo medio o igual, y el Sol solo el verdadero. Por la comparación de uno y otro ha de resultar la longitud: y así no basta la perfección de uno, es preciso tener exacto conocimiento del movimiento del otro". Tan certero análisis, y mención indirecta de la ecuación de tiempo, lo culminó con una aseveración

llena de sentimiento⁵: "¡ Con cuánto dolor debemos decir, que apenas se encontrarán en nuestro reino doce sujetos que sepan ejecutarlo!".

Jorge Juan se refiere después a la vertiente más cartográfica de la astronomía, indicando que sin su concurso "ningún conocimiento de los límites de los reinos, de la situación de los lugares, ni de sus respectivas direcciones "hubiera sido posible. Asimismo mencionó el antiguo procedimiento de los eclipses, de Luna y de Sol, para hallar la diferencia de longitudes entre dos puntos desde los que se observasen al unísono; honrando así la memoria del gran Hiparco de Nicea (190 a.C. – 120 a. C.), que fue uno de los primeros en recomendar calcularla de ese modo, de hecho se le atribuye a él la determinación de la existente entre Rodas y Alejandría siguiendo tal metodología.

Tras insistir en que por ese medio se perfeccionaron las imágenes cartográficas del nuevo y viejo mundo, reconoció que se incrementó la bondad de los resultados obtenidos gracias al descubrimiento de las cuatro lunas, o satélites, de Jupiter, mediante el empleo de los "vidrios dióptricos". Añadiendo, el planeta "diariamente eclipsa una u otras, con tanta más prontitud cuanto es mayor su velocidad respectiva...se ha conseguido hacer observaciones diarias de longitud, y con ellas enriquecer y perfeccionar los Mapas". Aunque no lo citara Jorge Juan, parece prudente recordar que el principal valedor de ese procedimiento, más terrestre que marino, fue el primer director del Observatorio de París, es decir Giovanni Domenico Cassini (1625 –1712); cuyo equipo logró formar un nuevo planisferio en el que la posición relativa de los meridianos era casi la adecuada, amén de reducir definitivamente la longitud del Mar Mediterráneo⁶. Tampoco comentó, quizás por modestia, que él mismo había observado los eclipses de los satélites de Jupiter para determinar la longitud de diferentes lugares, durante su estancia en el virreinato del Perú. El propio Jorge Juan refirió después, en el libro de las "Observaciones Astronómicas y Físicas...", que a su vuelta al viejo continente se encontró en París con el hijo del anterior⁷ para intercambiar información acerca de las horas locales de las ocultaciones y emersiones de los referidos satélites y así poder hallar las diferencias de longitudes respectivas⁸.

Al abordar los sistemas del mundo, esto es los diferentes modelos planetarios, comenzó citando el geocéntrico de Tolomeo y el heliocéntrico que supuestamente había defendido Pitágoras⁹: "... pero mucho antes que él ya Pitágoras había enseñado que el Sol estaba fijo como centro, y que la Tierra, con los demás Astros, giraban, tanto sobre sus propios ejes, como alrededor de aquel lumínar". Sorprende que inmediatamente después no recordara Jorge Juan las singulares contribuciones de la astronomía hispano musulmana, que llegó a cuestionar abiertamente la validez del Almagesto, la meritoria creación de Observatorios y Escuelas de Traductores; destacando principalmente la recopilación debida al rey sabio Alfonso X en su celebrado Libro del Saber de Astronomía. También son dignos de recuerdo los centros de estudio existentes en algunos monasterios catalanes, hasta los que se desplazaron traductores tan eminentes como el benedictino francés Gerbert de Aurillac¹⁰ (945-1003), pues gracias a él se conoció el astrolabio más allá de los Pirineos. A sus importantes traducciones y a las de otras análogas se debió el renovado interés por la Astronomía, que surgió a partir de entonces en el resto de Europa; siendo pues obvio el transcendental papel jugado por los fondos documentales de nuestro país en la implantación de los modelos planetarios posteriores.

Jorge Juan no dejó de lado las diferentes controversias entre otras tantas propuestas para encontrar la solución definitiva, aunque fuese un tanto severo en su juicio: "se observan también las estaciones y retrogradaciones de los Planetas en general, y para salvarlos llenaron los Astrónomos a los Cielos de círculos y epiciclos, produciendo nuevos movimientos a medida de sus caprichos y de la necesidad de sostener sus opiniones. ¡Pero qué mucho, cuando de ordinario excedió el amor de las escuelas al de la verdad!". En su opinión fue a Nicolás Copérnico (1473-1543) al que le cupo el honor de aclarar la confusión introducida, deduciendo a partir de sus propias observaciones "que nada correspondía más fácil que la opinión de Pitágoras. Sin embargo se tenía por cierto que se trataba de un sistema contrario a las "Sagradas letras", una falsa creencia que mediatizó su aceptación por el mundo instruido¹¹. De cualquier forma, el novedoso patrón astronómico se extendió rá-

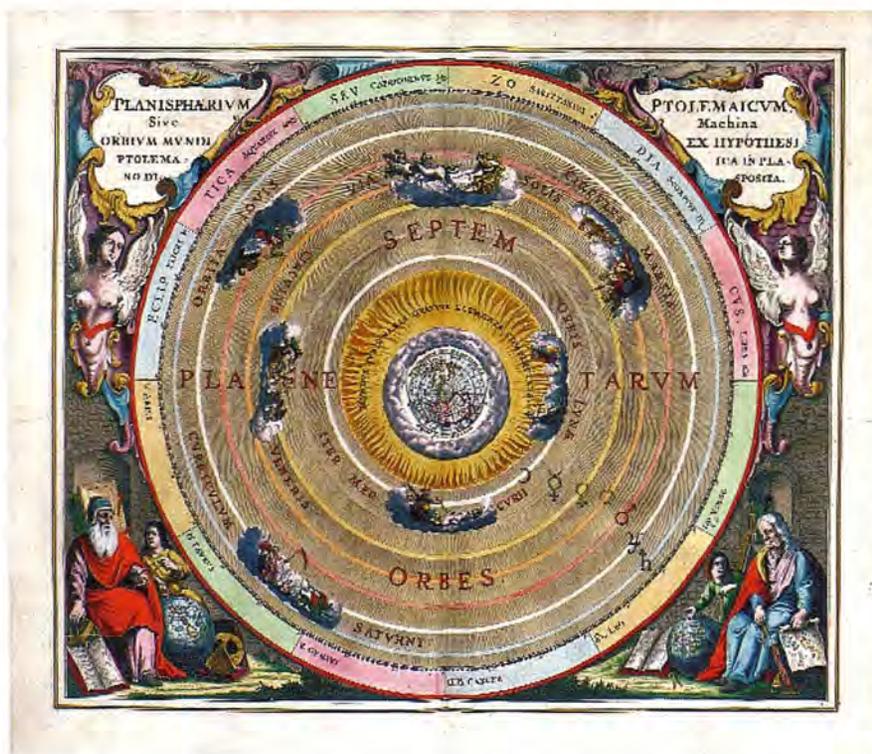


Figura 3. Planisferio de Tolomeo, o el mecanismo (es decir los movimientos) de las órbitas celestes según las hipótesis de Tolomeo presentado en una vista plana. Andreas Cellarius (1596-1665). Atlas Coelestis seu Harmonia Macrocosmica. Amsterdam 1660.

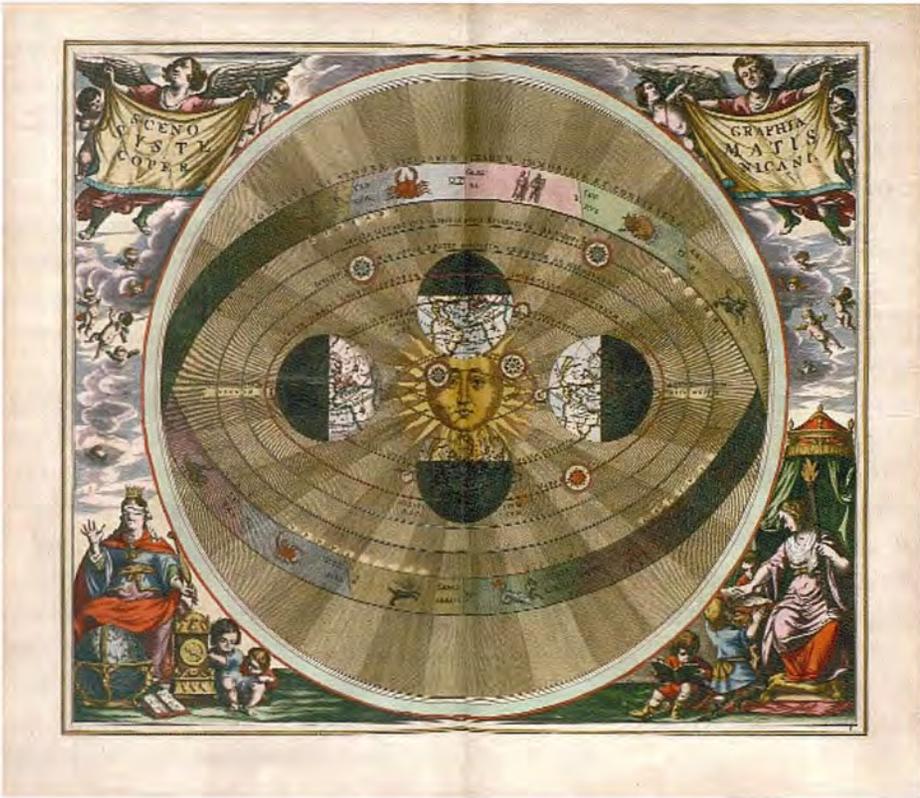


Figura 4. Escenografía del Sistema Copernicano. Andreas Cellarius (1596-1665). Atlas Coelestis seu Harmonia Macrocosmica. Amsterdam 1660

baban. Faltando argumentos sólidos, lo literal de las Sagradas escrituras debe ser preferido”.

Uno de los modelos influenciados por la ruptura copernicana, que tuvo gran resonancia, fue el que ideó Tycho Brahe (1536-1601). El sistema del astrónomo danés fue reproducido por la obra Epitome Astronomiae Copernicanae, cuyo autor fue Johannes Kepler (1571-1630), uno de sus alumnos más distinguidos. La publicación, editada entre los años 1618 y 1621, culminó con el propio sistema de Kepler, basado en las trayectorias elípticas, y llegó a ser su trabajo con mayor índice de impacto; en él incluyó además las tres leyes del movimiento planetario y trató de explicar la dinámica celestial apoyándose en causas físicas. A este astrónomo

pidamente por toda Europa, aunque “cada cual lo adaptaba a su idea o capricho, y los más le repro-

apoyándose en causas físicas. A este astrónomo

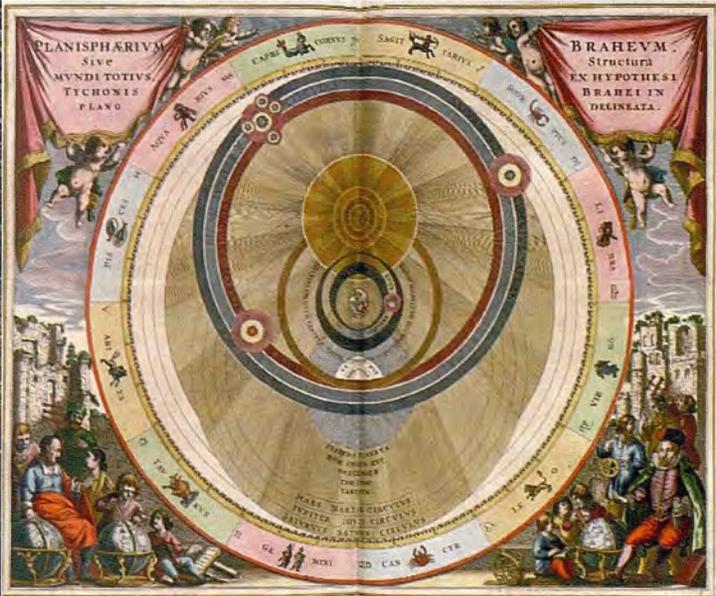


Figura 5. Planisferio de Brahe, o estructura del universo según las hipótesis de Tycho Brahe, dibujado en una vista plana. Andreas Cellarius (1596-1665). Atlas Coelestis seu Harmonia Macrocosmica. Amsterdam 1660. Se presenta también una escultura del profesor y alumno en la ciudad de Praga

genial se debió la confirmación definitiva que requería el modelo defendido por Copérnico, aunque se tratase de una modificación tan sustancial del mismo. Jorge Juan expresó la cuestión con gran brillantez: "Las mismas observaciones de Tycho, indujeron a Kepler, que estimulado de ellas, y de sus infatigables tareas, halló una admirable armonía en el movimiento de los Astros, y una constante proporción entre los cuadrados de sus tiempos periódicos, y los cubos de sus distancias, así como de las áreas descritas con los tiempos; pero todo respectivo al Sol, no a la Tierra, antes esta halló asimismo que seguía la luz de los Planetas".

Galileo (1564-1642) dio otro espaldarazo a las ideas de Copérnico al propagarlas como verosímiles en Italia, estando convencido de que eran acordes con las que seguían las lunas de Jupiter con relación a su planeta. La defensa de semejantes teorías tuvo, como es sabido, efectos inmediatos, según relata el mismo Jorge Juan: "...y dio motivo, no solo a que la Congregación de Cardenales Inquisidores condenase el Sistema, sino a que le sentenciara a abjurar del error. Pero dicha sentencia no se extendió a condenar el Sistema por herético, sino por solo sospechoso de herejía". No puedo dejar de pensar que el subrayado de Jorge Juan encierre una crítica a tamaño despropósito.

Consideraba Jorge Juan que las leyes de Kepler eran la clave de la teoría celeste, añadiendo sin embargo que a comienzos del siglo XVII nada se sabía de Astronomía con el debido fundamento "reduciéndose todo a observaciones y a conjeturas aparentes". El avance cualitativo relevante se produjo, según él, gracias a las aportaciones de Isaac Newton (1642-1727): "cuyas luces en las matemáticas no solo adelantaron la geometría, Mecánica y Física a la perfección que hoy tienen estas Ciencias, sino que, cansado ya de juzgar por apariencias y por pasiones, le movieron a escribir sus Principios de Filosofía Natural, arrojando de sí toda autoridad mal fundada, para no valerse sino de la Geometría, (que jamás engaña) de las leyes de la Mecánica, y de la Observación".

Gracias a su ley de gravitación universal pudieron demostrarse final-

mente las tres leyes de Kepler y extrapolarlas a los satélites de Jupiter, con relación al planeta, a los de Saturno y hasta al movimiento de la Luna con respecto a la Tierra. Las palabras de Jorge Juan fueron concluyentes: "si un cuerpo cualquiera gira alrededor de un punto, describiendo áreas proporcionales a los tiempos, a más de la fuerza de proyección, tiene otra que tiende al punto céntrico, y que si los cubos de sus distancias son como los cuadrados de los tiempos, será una elipse la descrita. Es demostración en que no cabe la menor duda y habiéndose verificado por las observaciones...que todos los Planetas se gobiernan por esas mismas leyes, girando alrededor del Sol, tampoco debe dudarse ya en que describen elipses".

Siendo este artículo de Jorge Juan eminentemente astronómico, se puede comprender, dado su probado interés por la gravimetría¹², que incluyera en él algún comentario sobre esa disciplina, por estarse refiriendo a las investigaciones de Newton. El párrafo en cuestión es una muy buena síntesis de la contribución del sabio inglés a la ge-

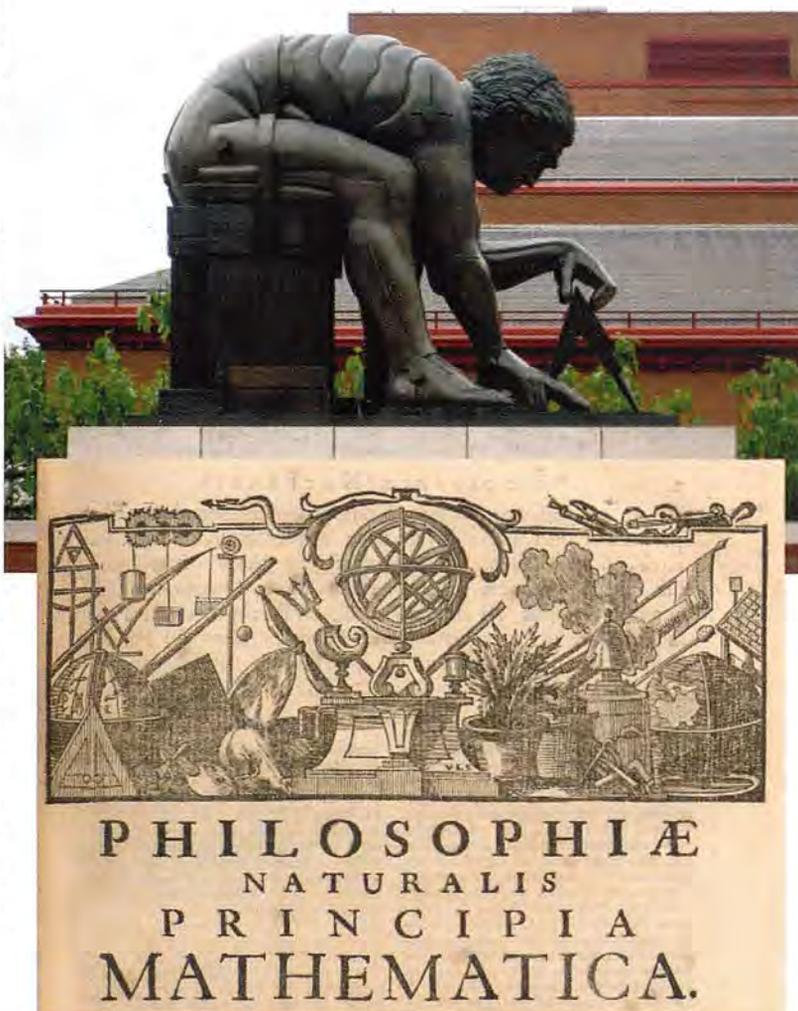


Figura 6. Escultura de Newton delante de la nueva sede de la British Library. Londres.

odesia física, que por su importancia se transcribe en su integridad:

“Para más adelante el Caballero Newton inquiriere con el mismo método Geométrico si la propia fuerza que obliga a cualquiera de los Planetas a girar alrededor del Sol, obliga también a girar a los otros, y halla una generalidad en la ley, que no hay uno que se exceptúe, inclusa asimismo la Tierra. Averigua después si la gravedad con que tienden los cuerpos hacia el centro en la superficie de la Tierra puede ser la misma que mantiene a la Luna en su órbita, y halla tan precisa correspondencia, que es digna de admiración. No se contenta con esto: demuestra patentemente, que no hay fenómeno en los Cielos ni en la Tierra que no esté sujeto a las mismas leyes. Combinando el movimiento diurno de Jupiter con la gravedad que en él actúa, determina la diferencia de sus diámetros, y las observaciones la acreditan: hace lo propio con la Tierra, sin embargo de contrarias opiniones respetables, y las medidas más justificadas le dieron igual honor. Aplica aún con sus principios el cálculo del flujo y reflujo del Mar, y su correspondencia admira a los más sabios: inquiriere si del mismo modo puede satisfacer el movimiento en longitud llamado precesión de los Equinoccios,

y halla en él la mayor puntualidad. En fin llega a predecir que Júpiter y Saturno deben hacer sus movimientos con su respectiva atracción, y los Astrónomos, que por la primera vez oyeron admirados la sentencia, la confirmaron después con sus observaciones”. Acto seguido manifiesta el marino alicantino que los cometas siguen trayectorias regidas por los mismos principios filosóficos de Newton, contribuyendo de esa forma a evitar el pavor tan irracional que despertaban sus apariciones¹³: “...creyéndose casi en nuestros días, que amenazaban a los Reyes, a los Pueblos, y aún a todo el orbe”.

Retomó después el asunto de la longitud, para recordar las mejoras introducidas en las tablas lunares por Alexis Clairaut (1713-1765), por Leonard Euler (1707-1783) y por Tobías Mayer (1723-1762), con el fin de optimizar los resultados obtenidos usando ese procedimiento. Mayer había publicado sus conclusiones en el libro *Theoria lunae juxta systema Newtonianum* (Londres, 1767), señalando Jorge Juan que incluso había recibido un premio de 500 libras del parlamento británico por haber contribuido a la solución del problema de la longitud¹⁴. El premio fue de sobra merecido, no en vano escribiría años después

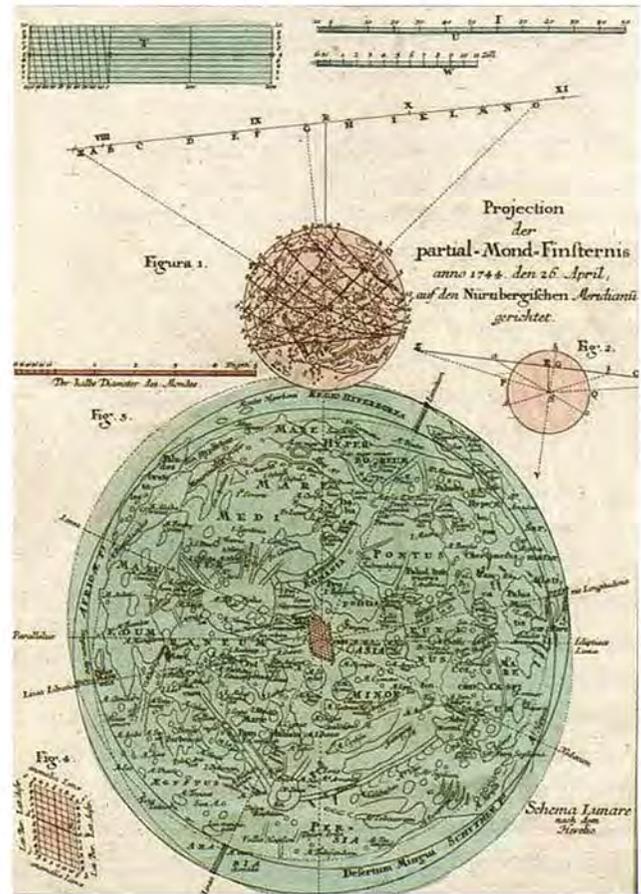


Figura 7. Atlas Matemático (*Mathematischer Atlas*) de Tobías Mayer (Ausburgo, 1745). Detalle del frontispicio y de uno de sus mapas de la Luna.

Jean Baptiste Delambre (1749-1822), en su *Historia de la Astronomía en el siglo XVIII* (París. 1827), que Tobías Mayer era universalmente considerado como uno de los más grandes astrónomos del siglo XVIII, sino de todos los tiempos y de todos los países. Se concluye este apartado con un juicio valiente que revela ciertas heridas no del todo cicatrizadas: "Este cúmulo de acertadas predicciones, y demostraciones Geométricas (sin otras que se omiten) clama y excluye todo argumento aparente, toda pasión escolástica, y toda infundada autoridad. Ya no basta decir que puede girar este o el otro cuerpo: es preciso que corresponda a las leyes generales que la Teórica demostrada, y la Observación dictan".

Las heridas a que me refiero son derivadas de sus problemas con la Inquisición y con el rechazo expreso de sus trabajos, por parte de un catedrático de la Universidad de Salamanca. La correspondiente censura fue ejercida por el Inquisidor, sobre aspectos religiosos, el Cosmógrafo Mayor de Indias y el Maestro de matemáticas del Colegio Imperial, sobre cuestiones científicas, y un miembro del Consejo de Indias, sobre información política. Sus Observaciones astronómicas y Físicas fueron también evaluadas por el sacerdote Diego Torres de Villarroel (1694-1770) quien hizo valer su condición de Catedrático de Matemáticas en Salamanca, su juicio cartesiano y negativo fue tan obvio que el jesuita Andrés Marcos Burriel (1719-1762) le manifestó a Jorge Juan lo siguiente: "... quien no reirá al ver a Torres hacer de serio, quejarse de la ignorancia de la Nación en materia de geometría y demás tratados matemáticos, y por otro lado, ver que él mismo, siendo Maestro de Salamanca, y autor de tantos libritos ni entiende aún el abecé de la cuestión, ni sabe ni poco ni mucho lo que ha pasado sobre la figura de la Tierra, y que del libro de las observaciones, de los instrumentos, y en una palabra, de todo habla como el más idiota".

Al final de este interesante ensayo astronómico, recurre Jorge Juan a la teoría del absurdo para realzar todavía más la trascendencia de las proposiciones newtonianas, asegurando. "Estos y aún otros infinitos absurdos podrían deducirse: y en una palabra, ninguna de cuantas teóricas han resultado de las atracciones, debían corresponder, a ser la Tierra el centro del movimiento, por más que cada cuerpo y fenómeno se intentara considerar distinta ley, y distinta fuerza central. Y por último, querer establecer fija a la Tierra, es lo mismo que querer derribar todos los principios de la Mecánica,

de la Física, y aún toda la Astronomía, sin dejar auxilio ni fuerzas en lo humano que satisfacer". Por otra parte, el profundo sentimiento religioso de Jorge Juan se deja sentir cuando reclama veneración para las "Sagradas letras", añadiendo que nunca quisieron enseñar Astronomía y que hasta los mismos que sentenciaron a Galileo se reconocían arrepentidos de haberlo hecho "y nada lo acredita tanto como la conducta de la misma Italia: por toda ella se enseña públicamente el Sistema Copernicano y Newtoniano: no hay Religioso que no lo dé a la prensa: los P.P. Lesieur, Jacquier y Boscowich, y aún la Academia de Bolonia no aspiran a otra cosa".

El último alegato de Jorge Juan encierra una buena dosis de firme patriotismo, acompañada de un cierto temor al poder de decisión de ciertas mentes obtusas, ancladas permanentemente al rechazo de las tesis copernicanas aunque estuvieran avaladas por toda suerte de evidencias teóricas y prácticas. Estos fueron los razonamientos que realizó a modo de epílogo:

"¿Será decente con esto obligar a nuestra Nación a que después de explicar los Sistemas y la Filosofía Newtoniana, haya que añadir a cada fenómeno que dependa del movimiento de la Tierra: pero no se crea este, que es contra las Sagradas letras? ¿No será ultrajar estas el pretender que se opongán a las más delicadas demostraciones de Geometría y de Mecánica? ¿Podrá ningún católico sabio entender esto sin escandalizarse? Y cuando no hubiera en el Reino luces suficientes para comprenderlo ¿dejaría de hacerse risible una Nación que tanta ceguedad mantiene?"

Las reticencias de la comunidad educativa de entonces se dejan sentir asimismo en el párrafo final: "No es posible que su Soberano, lleno de amor y de sabiduría, tal consienta: es preciso que vuelva por el honor de sus Vasallos; y absolutamente necesario, que se puedan explicar los Sistemas, sin la precisión de haberlos de refutar: pues no habiendo duda de lo expuesto, tampoco debe haberla en permitir que la Ciencia se escriba sin semejantes sujeciones".

La sensata petición de Jorge Juan tardó en surtir efecto, la intransigencia religiosa por un lado y la cerrazón intelectual por otro fueron factores determinantes. En otro caso sería inexplicable la proliferación de almanaques en los que se mantenía, con todas sus consecuencias, el modelo geocén-

trico de Tolomeo, aunque paradójicamente se diese la razón al juicio impertinente y fanático de Martín Lutero (1483-1546). Recuérdese que el fraile agustino atacó ignominiosamente a Copérnico, tildándolo de astrónomo advenedizo y loco que pretendía subvertir la ciencia astronómica; su pretendido apoyo no pudo ser otro que un pasaje de la Biblia en la que Josué pidió a Dios que detuviera al Sol, y no a la Tierra.

² La intervención del rey Felipe II fue decisiva para la implantación definitiva del nuevo calendario, llegando a dictar una Pragmática para general conocimiento del nuevo cómputo y para que también surtiera efecto en el nuevo mundo.

³ El informe es un documento de incuestionable interés que fue reproducido por Fernández Duro en 1879 (Volumen IV de sus Disquisiciones náuticas).

⁴ El método astronómico de las alturas correspondientes trataba de hallar la hora del paso del Sol por el meridiano del lugar. La hora se obtenía como promedio de las que se iban obteniendo al observar el Sol en instantes en que tuviese la misma altura, antes y después de su culminación; instantes que se conocen con el nombre de posiciones correspondientes, en tanto que son simétricas con relación al citado meridiano.

⁵ A pesar del tiempo transcurrido, la incultura astronómica del profesor y estudiante universitario medio es una triste realidad, propiciada por el encorsetamiento de la enseñanza de esa disciplina en algunas especialidades de las Ciencias Exactas y de ciertas Escuelas Técnicas Superiores.

⁶ El mapa adornó el suelo de uno de los salones del citado Observatorio, un anexo de la Academia de Ciencias de París.

⁷ Me estoy refiriendo a Jacques Cassini (1677-1756), también conocido como Cassini II, que fue

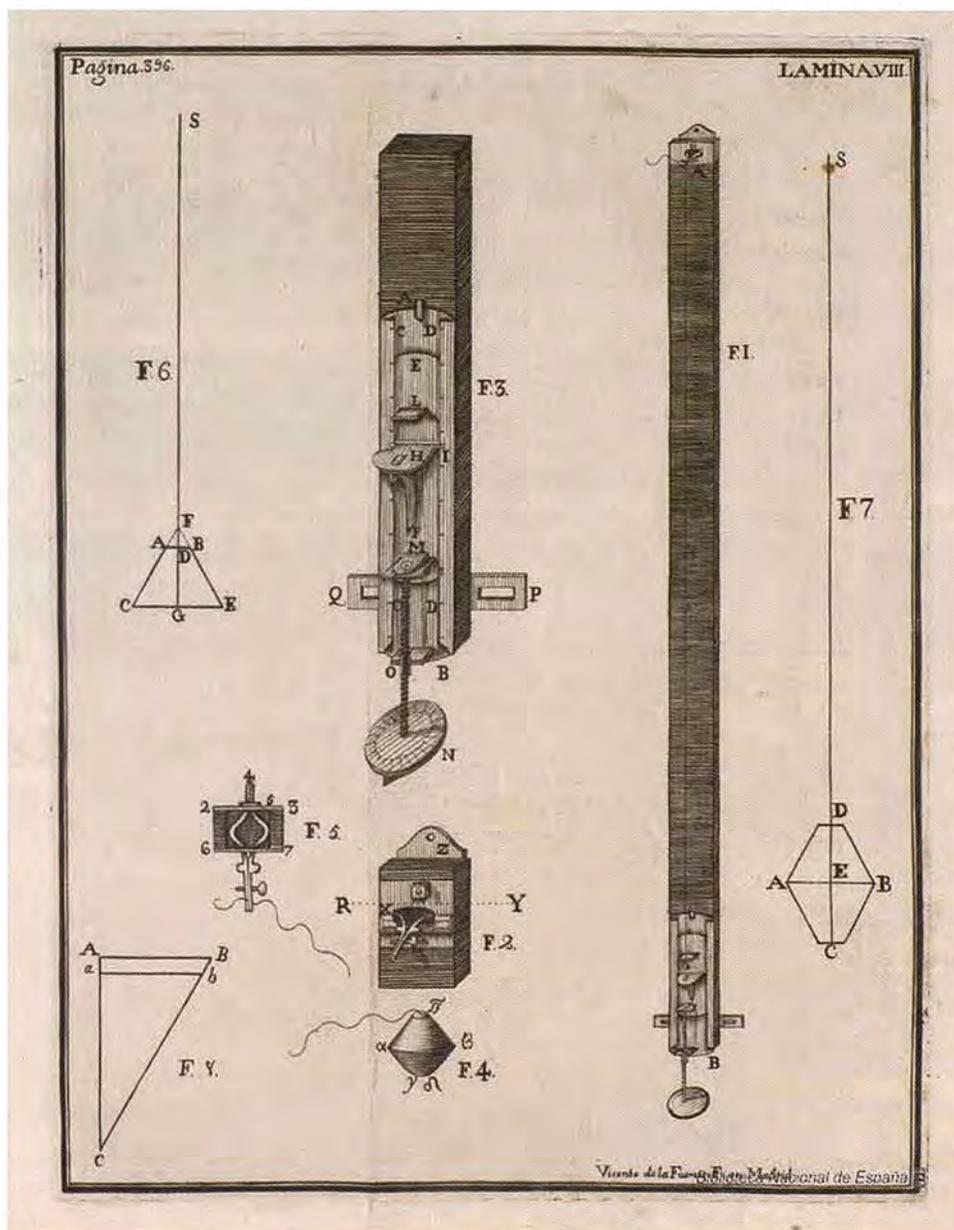


Figura 8. Detalle del instrumental empleado, por Jorge Juan y Antonio de Ulloa, en las observaciones gravimétricas de centro América (Observaciones Físicas y Astronómicas).

Pies de página

¹ El texto consta de 15 páginas (cuarto), si bien se incluyó en el mismo volumen un interesante curriculum vitae de Jorge Juan, de 40 páginas, escrito por su secretario Miguel Sanz, Oficial Segundo de la Contaduría principal de Marina.

director del Observatorio de París en el periodo (1712-1756), sucediendo a su padre, Cassini I, el ya nombrado G. D. Cassini, un astrónomo italiano de gran prestigio que se afincó en Francia por el expreso deseo del rey Luis XIV

⁸ Lamentablemente, el intercambio no resultó productivo pues no se dio la necesaria coincidencia entre las dos series de observaciones.

⁹ El fuego central preconizado por los pitagóricos, alrededor del cual giraban todos los planetas (incluidos el Sol y la Luna) fue perfeccionado siglos después por Aristarco de Samos (310 a. C. – 230 a. C.), el cual comprobó que el tamaño del Sol era mucho mayor que el de la Tierra y debía ser esta la que girara en torno a aquel.

¹⁰ Los conocimientos adquiridos, durante los años que pasó en nuestro país, aumentaron su prestigio hasta el punto de ser nombrado arzobispo, primero de Reims y luego de Rávena, y luego papa en el año 999 con el nombre de Silvestre II.

¹¹ La obra principal de Copérnico "De Revolutionibus orbis coelestium" fue incluida en el índice de libros prohibidos por la Iglesia (Index Librorum Prohibitorum et Expurgatorum) por un decreto del 5 de marzo de 1584, esto es cuarenta y un año después de que se publicase en Nuremberg. El original del libro continuó censurado hasta el año 1835. No obstante, en la primera mitad del siglo XVIII, el papa Benedicto XIV autorizó la publicación de obras sobre el heliocentrismo, de hecho en el año 1741 ordenó que se imprimieran las obras completas de Galileo. Ya en 1757 se retiraron del Índice la mayoría de las obras favorables a ese modelo universal.

¹² Durante sus trabajos en el virreinato de Perú realizó, junto a Ulloa, observaciones gravimétricas. Así se recoge en el libro octavo de las Observaciones Astronómicas y Físicas, cuyo contenido se refiere a las experiencias del péndulo simple, a la descripción del instrumento con que se ejecutaron y a la determinación de la Figura de la Tierra, sobre la cual se dan Tablas del valor de cada grado del meridiano terrestre y de la longitud del péndulo para cada latitud.

¹³ En el artículo original hay una nota a pie de página indicando que Jorge Juan estudió la órbita se-

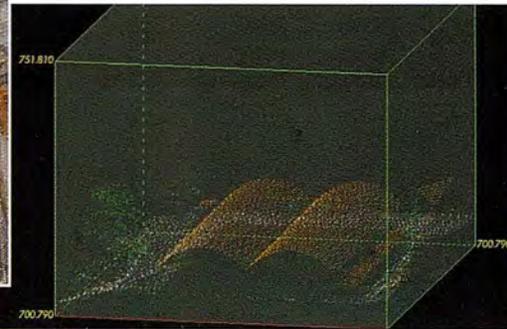
guida por el último que se vio en su tiempo (Halley 1758), escribiendo sobre el particular en el año 1765.

¹⁴ Jorge Juan indica que Mayer era de nacionalidad inglesa, cuando realmente había nacido en Alemania (Marbach, cerca de Stuttgart), desarrollando su actividad principal en la Universidad de Göttingen. En cuanto al premio, parece ser que fue su viuda la que recibió un total de 3000 libras, por haber conseguido su marido determinar la longitud en el mar con incertidumbre inferior al minuto. El origen de la recompensa fue el llamado Decreto de la Longitud (Longitude Act) el día 8 de julio de 1714, el cual establecía tres tipos de premios: uno de 20000 libras para el que hallase la longitud con un error menor de 30', otro de 15000 libras si el error era inferior a 2/3 de grado y un tercero de 10000 libras si el error alcanzado era del orden de un grado. El Decreto contemplaba además la creación de un Consejo evaluador que no llegó a disolverse hasta el siglo siguiente, concretamente en el año 1828, tras haber desembolsado más de 100000 libras. Finalmente los mayores premios recayeron en J. Harrison, quien anunció su reloj H-4 en 1755, aunque no lo completase hasta el año 1759. El modelo ganador fue un reloj portátil de cerca de 13 cm de diámetro y apenas 1.4 kg. de peso. Aunque el autor estaba orgulloso de los tres modelos anteriores, era este su preferido a tenor de lo que escribió: "I think I may make bold to say, that there is neither any other Mechanical or Mathematical thing in the World that is more beautiful or curious in texture than this my watch or Timekeeper for the Longitude...and I heartily thank Almighty God that I have lived so long, as in some measure to complete it". El reloj de Harrison fue probado con éxito en dos travesías: Jamaica (1761-1762) y Barbados (1764), comprobándose fehacientemente que los errores que presentaba eran despreciables en relación con las tolerancias fijadas en el Decreto. Sin embargo la cicatería del Consejo impidió que cobrase el primer premio, entregándole solo el importe del segundo. En cambio la Royal Society le concedió su medalla de oro y el Parlamento un total de 8750 libras, una recompensa que venía a reconocer su ingenio y virtuosismo instrumental, y su decisiva aportación para solucionar el problema de la longitud en alta mar.

Sensores Lidar

¿Quiere ver el mundo con otra perspectiva?

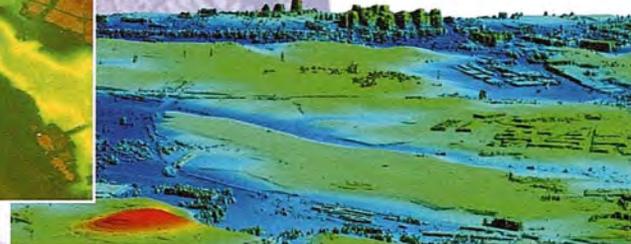
El sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema láser de medición a distancia, que permite la modelización rápida y precisa del terreno, compuesto por un receptor GPS y un sistema inercial (proporcionan la posición, trayectoria y orientación del láser), un emisor y un barredor (scanner) que permite obtener una nube muy densa y precisa de puntos con coordenadas XYZ.



Vuelo digital + LIDAR. 18 cm, Comunidad de Madrid

Aplicaciones:

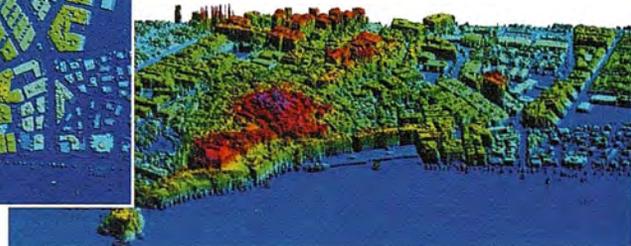
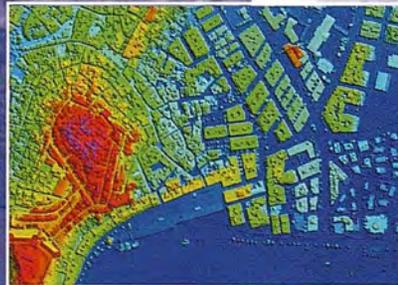
- Aplicaciones cartográficas
- Modelos hidráulicos
- Estudios forestales
- Modelos tridimensionales urbanos
- Seguimientos de costas
- Líneas eléctricas, inventario, puntos críticos



Aeropuerto de Pamplona. Modelo Digital de Superficie generado por LIDAR - Malla de 2x2m

Productos derivados:

- Curvas de nivel
- Modelos hidráulicos
- TINs
- Cubicaciones
- Perfiles transversales o longitudinales
- Mapas de pendientes
- Mapas de exposiciones
- Visualización 3D



LIDAR en Almuñécar (Granada) para estudios de inundabilidad

Ventajas frente a otras técnicas:

- 1 **Precisión altimétrica:** 10-15 cm
- 2 **Densidad de puntos:** 0,5 a 8 puntos/m²
- 3 **Homogeneidad** en todas las áreas de un proyecto
- 4 **Obtención de MDT y MSD**
- 5 **Continuidad del MDT:** debajo de arbolado, debajo de edificación, eliminación de estructuras
- 6 **Precio:** Excelente relación precisión/precio
- 7 **Rapidez:** cortos plazos de entrega para grandes superficies



Paseo de la Habana, 200 • 28036 Madrid (Spain)
Tel: +34 91 343 19 40 • Fax: +34 91 343 19 41 • info@stereocarto.com

www.stereocarto.com



Diseño de una solución cartográfica para móviles en zonas de montaña. Aplicación para el Parque Natural del Montseny

Jesús Palomar Vázquez

Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia. España

Josep E. Pardo Pascual

Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia. España

M^a José Peiró

Ayuntamiento de Aldaia, (Valencia), España

Resumen

En este artículo se describe el diseño y la implementación de una aplicación de visualización y consulta de la cartografía del Parc Natural del Montseny (Girona) optimizada para dispositivos móviles, para ser utilizada tanto en modo on-line como en modo off-line. El sistema permite la visualización de varios niveles de detalle, así como la consulta de la información cartográfica. Para el diseño de la aplicación se han tenido en cuenta diferentes aspectos y requerimientos: permite la conexión on-line a la cartografía o la descarga directa para un funcionamiento autónomo; permite la utilización de geolocalización vía GPS o también QR-Code (para zonas sin cobertura); y finalmente incorpora un sistema de almacenamiento de los atributos basado en la codificación de los mismos en la propia imagen. La aplicación ha sido implementada en J2ME y tiene en cuenta la resolución y el tamaño de pantalla del dispositivo móvil.

Palabras clave: cartografía móvil, generalización cartográfica, codificación de atributos, QR-Code.

Introducción

En la actualidad, la aparición continuada de avances tecnológicos en los dispositivos de telefonía móvil y los rápidos cambios que conllevan, implica la necesidad de estar permanentemente investigando y creando soluciones para sacar el máximo provecho a la gran cantidad de datos y productos que hay en el mercado. Esto es más cierto en el ámbito de las aplicaciones LBS (location based service) en las cuales se coteja la posi-

ción actual del usuario con los recursos disponibles en su entorno para la ayuda en la toma de decisiones. Si hablamos de turismo, este tipo de aplicaciones tiene un interés añadido, ya que no solamente se ofrece al usuario la posibilidad de saber qué recursos hay a su alrededor, sino que también fomentan el conocimiento y el desarrollo de actividades económicas en determinadas áreas. Es por ello que el ámbito de los servicios de consumo de recursos turísticos a través de dispositivos móviles es un campo en continuo desarrollo y con un futuro asegurado..

A lo largo de los últimos años la creación y el uso de aplicaciones de cartografía móvil ha experimentado un auge inusitado, pasando desde las primeras aplicaciones basadas en imágenes estáticas, a los navegadores o las últimas aplicaciones de realidad aumentada, que combinan información digital superpuesta con la realidad física (Layar, Wikitude, o Yelp Monocle, entre otros) y que están más enfocadas a la búsqueda de recursos cercanos en entornos urbanos. Dentro de este amplio abanico de posibilidades, este trabajo se centra en el ámbito del turismo rural y la explotación de grandes espacios naturales, en las que el uso de cartografía móvil está muy extendida (acceso a recursos más lejanos, planificación de rutas, información topográfica, etc.). Por tanto, se propone una solución cartográfica que permitirá utilizar el teléfono móvil como un soporte básico para disponer de mapas de cualquier lugar pudiéndose consultar también los atributos temáticos desde dicho dispositivo. Para poder conseguir este objetivo se ha de ser consciente de alguna de las principales dificultades que ello comporta.

Una de las dificultades más evidentes cuando se pretende gestionar cartografía desde móviles procede de las propias características del dispositivo móvil (tamaño de la pantalla y resolución principalmente). De hecho, esta es una preocupación tratada ampliamente en trabajos anteriores donde, a su vez, se han propuesto maneras de adaptar la cartografía y desarrollar interfaces de la aplicación, con el fin de obtener una buena comunicabilidad. De esta manera, se han propuesto varias soluciones para alcanzar una adaptación de la cartografía adecuada a las características de los dispositivos móviles:

- Adaptación de la información geográfica: revisando aspectos como el formato, la cantidad y nivel de detalle del contenido, la clasificación de la información y el tamaño del área geográfica a visualizar.

- Adaptación de la interfaz de usuario para facilitar el acceso a la información con elementos que simplifican la interacción: como zoom, desplazamiento, rotación, selección o hipervínculos.

- Adaptación del contenido de la visualización del mapa: incluyendo la orientación, escala, rango de colores o la posición del usuario sobre el mapa.

Otro problema asociado al dispositivo es el hecho de que, en el ámbito de la telefonía móvil, no existe un único sistema operativo sino que cada uno de los grandes fabricantes ha ido proporcionando su solución específica. Ello obliga, cuando se genera un software para gestionar la información geográfica, particularizar la solución desarrollada para cada sistema operativo.

Un segundo tipo de problemas son los que se asocian al empleo de este tipo de dispositivo sobre áreas montañosas o remotas. En este caso, una limitación evidente cuando se trabaja sobre móviles es la falta de cobertura telefónica y por tanto de acceso a la red—en amplias áreas territoriales, particularmente en zonas montañosas y también en grandes áreas de países en desarrollo. Esta limitación podría conllevar problemas para, sobre todo, disponer de información de los atributos temáticos asociados al mapa. Si pretendemos generar una cartografía con posibilidad de disponer de los atributos temáticos para uso en zonas de montañas es imprescindible diseñar una solución que permita gestionar esta información en modo offline, lo que implica que en el dispositivo se almacene tanto la información como el sistema gestor de la misma.

Dentro de este mismo grupo de problemas merece la pena mencionar la limitación en la recepción de la señal GPS que en determinados sectores puede existir. Ello puede ser particularmente evidente en espacios bastante cerrados —cañones, bosques, cuevas, ...—que sin embargo, cuando se practica el excursionismo, pueden ser espacios sumamente atractivos. Por ello, la solución que se diseñe ha de permitir disponer de un sistema de posicionamiento alternativo —como la basada en la codificación de la posición en señales físicas tipo QR-Code—que resuelva estas limitaciones. De esta forma, si a lo largo de un itinerario se tienen distribuidas este tipo de señales, se puede codificar en ellas la posición sobre el mapa móvil e incluso otro tipo de información añadida (distancia hasta la siguiente señal, información del entorno, rutas alternativas, etc.).

Un tercer tipo de limitación se asocia a la propia adquisición de datos. La mayor parte de la transmisión de cartografía por Internet se realiza a través de un servidor mediante peticiones tipo Web Map Service (WMS). Este tipo de peticiones devuelve siempre una imagen (componente visual). Sin embargo, los atributos (la componente temática) no están presentes en la imagen (formada por píxeles en las que se almacena únicamente un valor que representa un color), lo que obliga a realizar una nueva petición para tener acceso a esta información. Por otra parte, en el caso de que nos descargáramos información vectorial, con mayor capacidad de asociar atributos temáticos, nos encontraríamos frente al problema de necesitar de un software suficientemente potente para gestionar dicha información desde el móvil. Por tanto, si queremos gestionar información cartográfica con atributos pero usando herramientas y los servidores estándar hemos de buscar una solución alternativa en la organización y gestión de esa información.

Para resolver todas estas limitaciones la solución que aquí proponemos se basa en la creación de un sistema de codificación de los atributos en formato raster mediante códigos de color que se asocian a una base de datos relacional que permite comunicar al usuario los datos temáticos almacenados [6]. El empleo de códigos de colores permite estar trabajando con imágenes que son fáciles de gestionar desde un móvil cualquiera y, ser extraordinariamente eficiente en la capacidad de almacenar un volumen significativo de datos, lo que abre las posibilidades de disponer de información dentro del propio dispositivo, y por tanto, liberarse de la necesidad de mantenerse permanentemente conectado a la red.

Arquitectura del sistema propuesto

De forma general, en la solución adoptada, se codifican los identificadores de las entidades vectoriales según códigos de color RGB. La confección del mapa de atributos conlleva un proceso previo de gestión de la información para decidir qué capas y en qué orden pasarán a formar parte de la capa final de atributos. De este modo, el primer paso consiste en asignar un identificador único secuencial a cada entidad en cada capa vectorial, para luego rasterizar cada una de estas capas tomando como valor de rasterización dicho identificador. El proceso se completa con la integración de todas estas capas raster en una única capa final. En este último paso es importante el orden de integración, ya que podremos decidir por ejemplo si los píxeles que representan edificaciones aisladas estarán sobre aquellos que representan áreas de cultivo para las zonas donde este tipo de entidades se solapan. Al finalizar el proceso tendremos una representación raster de todas las entidades vectoriales implicadas.

De esta manera, la arquitectura del sistema, independientemente del modo de conexión, se basa en tres niveles: nivel de visualización (mapas visibles), nivel de codificación (imágenes con la información de los identificadores vectoriales y/o valores raster codificados) y el nivel de atributos, representado por una base de datos enlazada al nivel de codificación.

Para conseguir el mapa final de atributos, los valores de cada píxel (los identificadores) se codifican dentro de un esquema RGB de color que será finalmente asignado al píxel.

Para variables discretas, si queremos codificar el valor del identificador 1000, solamente hemos de convertir dicho valor, a binario de 24 bits (0000000000000000000000001111101000) y tomar cada grupo de 8 bits para volver a convertirlos en decimales, obteniendo el color RGB final para dicho píxel, en este caso (0,3,232).

Para las variables continuas, el proceso es más directo: se toma una capa ráster (por ejemplo, el modelo digital de elevaciones) y se codifica dicho valor de la misma forma vista anteriormente.

Si se quiere codificar variables discretas y continuas al mismo tiempo, solamente habrá que decidir qué número de bits se destinan a almacenar identificadores para las entidades vectoriales y

cuántos bits para almacenar valores continuos. En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo de codificación (Figura 1).

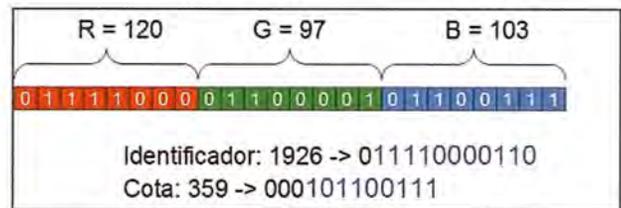


Figura 1. Codificación conjunta de identificador vectorial y altitud utilizando 12 bits para cada variable

El último nivel de información lo constituye la base de datos donde reside la información asociada a las entidades vectoriales. El valor del índice de la entidad vectorial almacenado en cada píxel servirá de puntero hacia un registro determinado de la base de datos donde se halla el resto de atributos. En nuestro caso el tipo de archivo para almacenar los atributos es un archivo de texto plano, aunque se podría emplear otro tipo de archivos. La estructura de campos de la base de datos es arbitraria y dependerá del propósito concreto de la aplicación y de las utilidades que se quiera dar a la información. Así por ejemplo, si disponemos de un campo en el que aparezca una clasificación de las entidades por tipo (carreteras, edificaciones, etc.) podemos utilizar esta información no solamente como consulta, sino también usarla para aplicar máscaras a la hora de visualizar la información por capas.

Ejemplo de una solución específica. Cartografía ecoturística del Parc del Monseny

Características del Parc natural del Monseny

Dentro de esta filosofía y como modelo de aplicación, se ha diseñado e implementado un visor cartográfico destinado a fomentar el conocimiento y facilitar la navegación, y la zona escogida para la realización del prototipo ha sido el Parc Natural del Monseny, en la provincia de Girona. Este parque es un espacio natural situado en la cordillera prelitoral catalana. Con un reconocido valor ecológico (declarado Reserva de la Biosfera en 1978) y un fuerte relieve, es una zona de atracción para turistas y deportistas. Ocupa una extensión de 30.120 hectáreas agrupando un total de 18 municipios, los cuales, mediante actividades coordinadas de difusión tratan de presentar al visitante toda la riqueza cultural, etnológica y natural de la zona. Una rápida revisión de la información existente en la actualidad, nos dice que la mayoría de los inten-

tos de fomento y difusión de esta zona, se vuelca sobre guías impresas y a lo sumo en algunas páginas web (entidades como la Diputació de Barcelona y de Girona, la Associació d'Empresaris Turístics Montseny, o el Bloc del Consorci de Turisme del Vallés Oriental disponen de guías impresas y alguna página web sobre la zona). En el caso de las guías impresas, la información suele ser muy abundante y de muy buena calidad, aunque también presenta el inconveniente de este formato estático (una portabilidad media y sobre todo una resolución temporal baja). Respecto a las páginas web presentan la ventaja de la capacidad de actualización pero su portabilidad es muy escasa, al no estar adaptadas a dispositivos móviles.

Es por esto que las aplicaciones de cartografía para móviles vienen a cubrir un espacio intermedio entre ambos tipos de soluciones, aportando, sobre todo un alto nivel de autonomía y de actualización y conexión con otros recursos.

Fuentes de información empleadas

a) Mapa base: Se ha utilizado como mapa base la cartografía disponible en la red del Institut Cartogràfic de Catalunya, concretamente las hojas 37-13, 38-13, 37-14, 38-14, 37-15 y 38-15 de la serie MTN50.

b) Datos turísticos: Debido a que los mapas base empleados, son mapas topográficos y que al no ser éste su objetivo contienen pocos elementos de interés turístico, por lo que gran parte de esta información ha de ser añadida y actualizada al margen de dicha cartografía. De esta manera, y teniendo en cuenta que la mayoría de información referente a recursos turísticos es de tipo puntual, se ha implementado una metodología para añadir y mantener dichos elementos independientemente de los mapas base. La información turística de carácter puntual ha sido añadida como una capa más vectorial dentro del proceso de rasterización, de forma que dicha información se encuentra dentro del mapa de atributos. Para la visualización de los iconos, se mantiene un registro indexado de puntos de forma que cada vez que se carga en pantalla un tile del

mapa base, se comprueba si existen algunos de estos puntos dentro del mismo, de forma que se puede visualizar su icono.

Requerimientos y soluciones para un uso real

El empleo real de esta cartografía debe tener en consideración la posibilidad de disponer de la información del mapa de la zona a distintas escalas de forma que el usuario pueda advertir su posición respecto al conjunto de la zona o con mayor detalle. Por otra parte, la solución ha de permitir el empleo de distintas clases de dispositivos móviles—si bien por ahora se han hecho dentro una única marca comercial—con distintas características en la forma y el nivel de resolución de sus pantallas. Ha de permitir el reconocimiento de distintos tipos atributos —discretos o continuos— tanto en modo on line como en modo off line de forma que se puedan aprovechar al máximo los recursos dependiendo de las limitaciones de cobertura de cada uno de los lugares en que nos encontremos. Por tanto, los requerimientos a tener en cuenta y las soluciones empleadas son las siguientes:

a) Visualización multiescalar.

Después de evaluar todas las posibilidades, se decidió establecer tres niveles de detalle, donde cada uno de los cuales cubre la zona según un número de terminado de tiles con una resolución escalar cada vez mayor:

— Primer nivel: imagen inicial que debe cubrir la totalidad del parque con muy pocos tiles. Debido a que la escala 1:250.000 que proporciona el ICC



Figura 2. Mapa original 1:250.000 procedente del ICC (izquierda). Mapa adaptado 1:200.000 (derecha)

contenía una excesiva cantidad de información, después de las pruebas realizadas, se decidió crear una cartografía adaptada a escala 1:200.000 para una mejor visualización en los dispositivos, generalizando información y añadiendo datos significativos relacionados con la finalidad de la aplicación (Figura 2).

_ Segundo nivel de zoom: imágenes del MTN del ICC a escala 1: 50.000.

_ Tercer nivel de zoom: imágenes del MTN del ICC a escala 1: 25.000. Esta escala es la elegida como escala base para moverse por el territorio y acceder a los atributos (ver punto 2).

Con esta configuración la zona del parque queda cubierta con un total de 648 tiles distribuidos según se muestra en la tabla y figura siguiente (Figura 3).

Escala	Número de tiles	Tiles totales
1:200.000	4x2	8
1:50.000	8x16	128
1:25.000	32x16	512

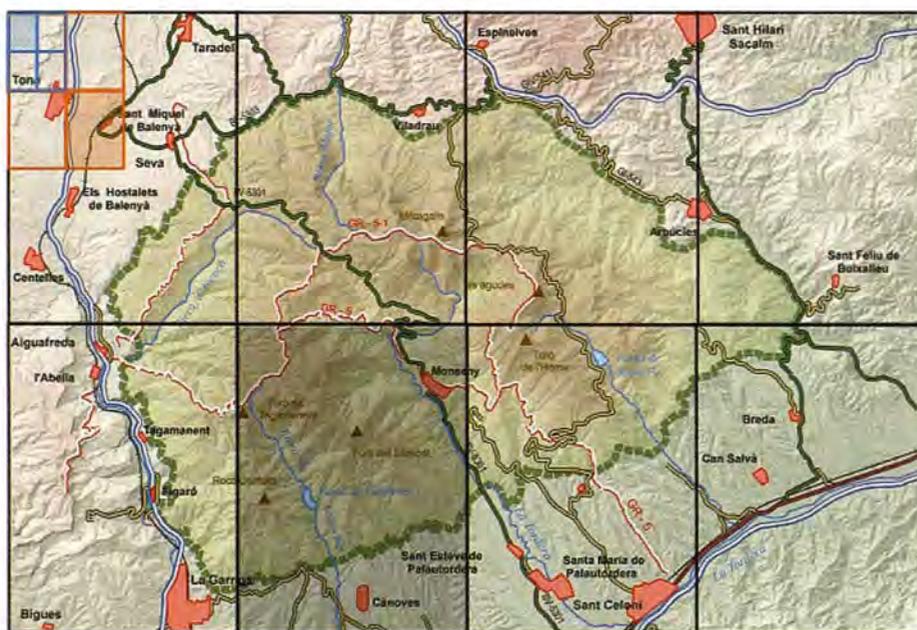


Figura 3. Distribución de tiles: en negro escala 1:200.000; en naranja escala 1:50.000; en azul escala 1:25.000

b) Adaptación a las características de distintos dispositivos móviles.

La intención ha sido siempre la de mantener la dualidad de funcionamiento, de modo que se permita el funcionamiento de la aplicación bajo condiciones normales de cobertura o en modo autónomo. En este sentido, el visor de cartografía funciona en distintos dispositivos móviles, y permite consultar la cartografía del Parc natural del

Monseny, bien mediante conexión a un servidor o en modo off-line, descargando previamente los datos al dispositivo móvil. La información cartográfica se estructura en varios niveles de detalle, representados por mapas de la zona a diferentes escalas, que se activan según el nivel de zoom en el móvil. Para mantener la calidad de visualización de los mapas en diferentes tipos de pantalla, se ha tenido en cuenta el tamaño y la resolución de los principales estándares existentes (Figura 4).

Para el caso del funcionamiento en modo off-line, se ha diseñado una aplicación en Visual Basic, que realiza las peticiones WMS al servidor del ICC y descarga los tiles correspondientes a cada rango de escala en formato png. El tamaño de cada tile es designado por la aplicación en función del tamaño de pantalla y resolución del dispositivo móvil de destino, asegurando que se cubra toda el área del parque natural (Figura 5). De esta manera, para cada tipo de dispositivo podemos crear un juego de datos adaptados de forma que la escala de visualización se mantenga invariante entre dichos dispositivos.

c) Baja capacidad de almacenamiento y memoria de los dispositivos

Un factor decisivo a la hora de estructurar la información ha sido la memoria limitada de los dispositivos. Se han estudiado las características de almacenamiento de información y las opciones existentes para teléfonos móviles para evaluar la posibilidad de funcionamiento del visor con y sin conexión y se ha decidido crear los tiles en

formato png, formato habitualmente utilizado en Internet y ampliamente aceptado en dispositivos móviles, y con un aceptable nivel de compresión. La compresión de las imágenes es una cuestión clave para poder utilizar la solución que aquí se propone ya que para el uso en modo off-line es imprescindible que toda la información ocupe la mínima memoria adaptándose a las restricciones de almacenamiento y memoria que tienen la mayoría de estos dispositivos. Para el caso de un uso en

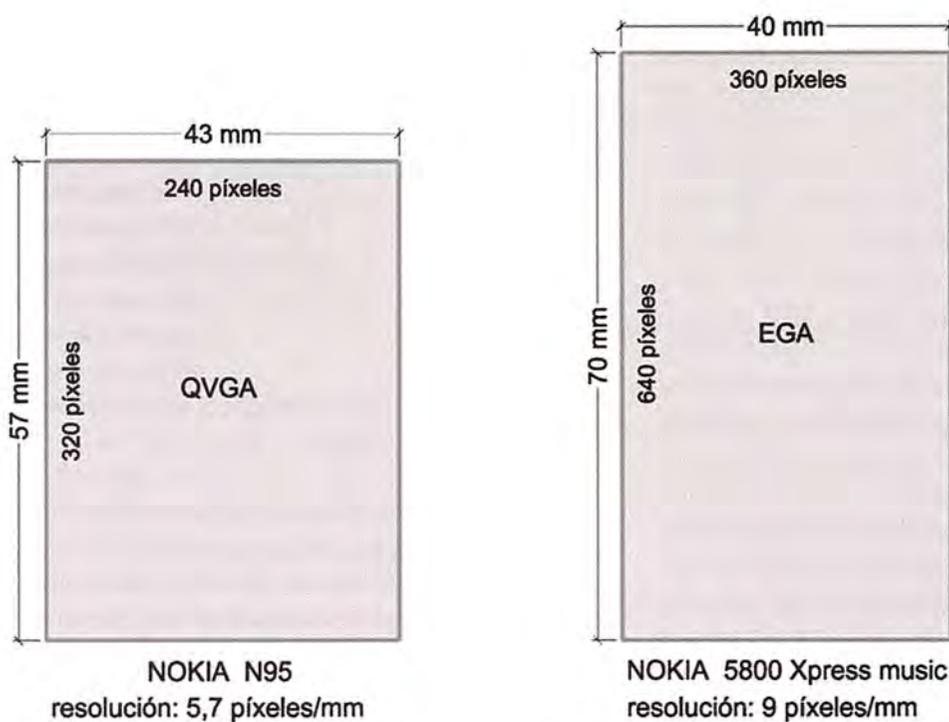


Figura 4: Tamaño de las pantallas de los dispositivos móviles, píxeles y resolución

pequeña aplicación que se instala en la memoria del móvil, en el caso de tenerse que usarse en modo desconectado de la red.

Para el acceso al mapa y las consultas a los atributos en modo on-line, la aplicación, al realizar una petición al servidor se descarga tanto el tile correspondiente al mapa base como el perteneciente al mapa de atributos (y la correspondiente base de datos adjunta). De esta manera, si el usuario desea información de cualquier punto del tile actual, no tiene que

modo on-line el que la información esté almacenada de forma comprimida acelera la transmisión y la abarata, y por tanto, la hace más eficiente. Aparte de la compresión por tanto se buscan estrategias de disminución del peso de las imágenes, como por ejemplo, alterar su profundidad de color—respecto al png original—sin alterar significativamente su calidad visual sobre la pantalla del móvil. En la siguiente tabla puede verse un resumen del tamaño de los tiles para cubrir el conjunto del parque naturales donde se han realizado las pruebas para el caso de su uso con un dispositivo Nokia N95

realizar ninguna nueva petición al servidor, ya que los atributos han sido descargados. De esta forma se gana en velocidad y se abaratan los costes.

En el caso de tener que utilizarse en modo off-line lo que se hace es descargarse una pequeña aplicación que se guarda en memoria y que contiene toda la información necesaria para moverse en el parque, así como para visualizarla y consultarla. En este caso simplemente el usuario se instala en programa en su móvil y accede a la

d) Visualización y acceso a los atributos temáticos.

La solución propuesta permite disponer la información tanto en modo de conexión con la red como en modo desconectado. En cualquier caso, la información base ha de haber sido tratada previamente y disponerse en un servidor desde donde se realice la descarga de los tiles (en el caso de modo conectado) o una pe-

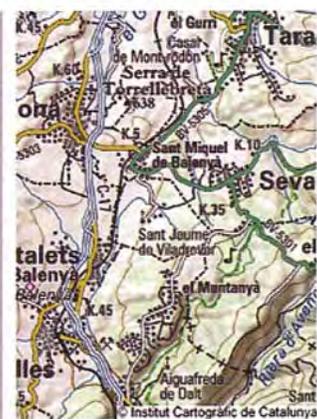


Figura 5. Aplicación para la descarga de tiles desde el servidor del ICC

	Escala	Tamaño medio de almacenamiento (Kb)	Número de tiles	Total (Mb)
Original	1:200.000	176	8	1.38
	1:50.000	181	128	22.6
	1:25.000	151	512	77.4
Total				101.3
Comprimido	1:200.000	26	8	0.2
	1:50.000	25	128	3.13
	1:25.000	23	512	11.4
Total				14.73

Tabla 1. Comparación del tamaño de los tiles antes y después de su compresión

información. Dicho programa contiene comprimidas tres carpetas correspondientes a la información a escala 1:200.000, 1:50.000 y 1:25.000. En esta última, además de los tiles con las imágenes que verá el usuario estarán almacenados también los atributos temáticos —continuos o discretos— codificados y la base de datos asociada. Además, dicha aplicación, dispone de una herramienta que permite leer y reconocer coordenadas a partir de códigos QR, lo que habilita a que se pueda georeferenciar la posición del usuario sobre el mapa descargado lo cual complementa al GPS en lugares donde no exista disponibilidad de esta señal.

En cualquiera de las dos modalidades —conectado o desconectado— la herramienta posibilita la integración de información discreta (el identificador de la entidad vectorial) junto a información continua (variables como la altitud, la pendiente, precipitación, etc.), las cuales permiten un mayor nivel de utilidad de los datos (cota en un punto, perfiles topográficos, análisis de visibilidad, etc.). Por último, como cada conjunto de píxeles está asociado a un identificador de una entidad vectorial, es fácil realizar operaciones de gestión en la visualización (visibilidad por capas, máscaras, etc.), de consulta (nomenclátor, búsqueda por atributos, etc.) o incluso geométricas (medida de áreas, aplicación de buffers, etc.), todo ello trabajando con datos ráster.

Propuestas reales sobre dos modelos Nokia

Características de los modelos y límite de almacenamiento

Los modelos de teléfono móvil sobre los que se han realizado estos trabajos han sido el Nokia N95 y el Nokia 5800 Xpressmusic, que se han elegido además de por su disponibilidad, por sus características y por ser modelos ampliamente extendidos y muy comunes.

Entre las características más destacables de los dispositivos empleados para el diseño del prototipo, señalar que ambos permiten conectividad GPRS y además de la memoria interna del teléfono, pueden llevar una tarjeta Micro SD. Respecto a los tamaños de las pantallas y resoluciones de los dos modelos, ya se ha realizado una comparación con anterioridad.

Teniendo en cuenta que cada modelo de móvil puede tener dimensiones y resoluciones diferente, la aplicación tiene en cuenta estas características



Figura 6. Comparación entre dos tiles de la misma zona para dos modelos de teléfono móvil. La zona sombreada representa áreas comunes

a la hora de generar el tile, con el objetivo de que en todas las pantallas la visualización sea de la misma calidad. Esto obliga a generar tiles con tamaño y resoluciones diferentes. En la siguiente figura (Figura 6) se muestran dos tiles que cubren parte de la misma zona, uno para el modelo Nokia XpressMusic 5800 (9 píxeles/mm de resolución, 360 píxeles de ancho y 640 de alto) y el Nokia N95 (5.7 píxeles/mm de resolución, 240 píxeles de ancho y 320 de alto).

Posibilidades reales de utilización

Se han desarrollado dos versiones de la aplicación, adaptando su funcionamiento a los dos modos de conexión predeterminados. Ambas versiones han sido desarrolladas en J2ME (Java MicroEdition), bajo la plataforma de desarrollo libre NetBeans y han sido testeadas en múltiples modelos Nokia con sistema operativo Symbian. En la figura 7 puede verse algunas capturas del prototipo en funcionamiento.

a) Solución para zonas sin cobertura: modo off-line.

Los datos que utiliza la aplicación: mapas base, mapa de atributos y bases de datos; se instalan directamente en la memoria del teléfono móvil o en la tarjeta de memoria del mismo. El usuario se descarga toda la información y la lleva almacenada en su dispositivo móvil, y se realizan las consultas a la aplicación de igual forma en los dos modos. Se accede en primer lugar al primer tile del mapa base, y a continuación se puede ir accediendo a los mapas a las distintas escalas establecidas, y solamente cuando se accede al nivel de cartografía más detallado (escala 1:25.000) se puede visualizar la información del mapa de atributos.

b) Optimización de recursos y abaratamiento del uso para las zonas con cobertura: modo on-line.

En este caso, los datos (mapas base, mapa de atributos y bases

de datos) son almacenados en un servidor. En la primera conexión el usuario se descarga el primer tile del mapa base y la base de datos, y puede navegar por los mapas base a las distintas escalas establecidas, pero solamente cuando accede a la cartografía más detallada (1:25.000) es cuando además del tile del mapa base, se descarga también el tile correspondiente al mapa de atributos. En este momento y mientras no cambie de tile, cualquier consulta será realizada sin necesidad de una nueva petición al servidor, lo que supone un ahorro económico y de tiempo en la gestión.

En cuanto al posicionamiento, se permite dos tipos de sistemas de localización: el primero vía GPS, lo que implica una buena cobertura de satélites, que en ocasiones puede ser deficiente, sobre todo en ciertas áreas de montaña (barrancos, gar-



Figura 7. Mapa base a escala 1:200.000 (superior izquierda); mapa base a escala 1:50.000 (superior derecha); mapa base a escala 1:25.000 e iconos añadidos (inferior izquierda); resultado de una consulta sobre el mapa de atributos (inferior derecha).

gantas, etc.); el segundo método se ha introducido precisamente para evitar estos problemas de cobertura y consiste en el posicionamiento mediante la lectura de códigos QR (Quick Response Barcode). Este tipo de códigos es un sistema para almacenar información en un matriz de puntos o código de barras bidimensional, creado por la compañía japonesa Denso-Wave, en 1.994 y que hoy en día se ha convertido en un estándar. Para decodificar la información almacenada solamente es necesario que el dispositivo móvil disponga de cámara de fotos. De esta forma, si a lo largo de un itinerario están dispuestas una serie de balizas con código QR conteniendo la información de la posición de la baliza, es inmediato cargar el tile correspondiente a dicha posición, por lo que el tema de la geolocalización sin GPS quedaría resuelto.

Conclusiones

El presente trabajo muestra una aplicación para la visualización y consulta de cartografía móvil para el desarrollo de actividades turísticas en entornos de montaña. El desarrollo de aplicaciones de este tipo se muestra sumamente útil para el fomento del turismo en estas zonas y contribuyen a su conocimiento y disfrute, ya que todo el mundo puede tener acceso a la información desde su dispositivo móvil.

Se han mostrado las distintas soluciones en cuanto a la obtención y organización de la información cartográfica ofreciéndose dos modos de conexión. También se ha comentado las principales barreras a la hora de emplear aplicaciones de este tipo, las cuales vienen dadas principalmente por las características de cada dispositivo móvil (memoria, tamaño y resolución de pantalla, etc.). Esto obliga a buscar soluciones que se adapten a dichas circunstancias particulares.

Las principales novedades con respecto a aplicaciones similares radican en la utilización de un mapa raster de atributos y la localización mediante códigos QR. En cuanto al primero, la capacidad de indexar cualquier tipo de atributos tanto discretos como continuos dentro de una imagen puede ser una buena solución para entidades que deseen ofrecer al usuario un valor añadido a las imágenes cartográficas. En cuanto al segundo, los códigos QR se muestran como una herramienta a tener en cuenta a la hora de ofrecer acceso rápido a cualquier tipo de información y el diseño e implantación

de itinerarios turísticos apoyados en estos códigos es una idea perfectamente factible.

Bibliografía

Brown, A., Emmer, N and Worn, J.V.D., 2001. Cartographic design and production in the Internet Era: The example of tourist web maps, *The Cartographic Journal*, Vol. 38 (1), 61-72.

Frank, C., Caduff, D. and Wuersch, M., 2004. From GIS to LBS: an intelligent mobile GIS, *GI Days 2004*, July 1st -2nd, 2004, Muenster, Germany.

Iris A. Junglas, Richard T. Watson, Location-based services, *Communications of the ACM*, v.51 n.3, p.65-69, March 2008 [doi>10.1145/1325555.1325568]

ISO/IEC 18004:2006 Information technology — Automatic identification and data capture techniques — QR code 2005 bar code symbology specification.

Mishra, K.K. & Punia, M. (2005): Cartographic adaptation of Maps for Mobile Devices: A context sensitive approach, *Proceeding Map Asia 2005* (available in: <http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapasia/2005/MobileMapping/index.htm> visited in November 2010).

Palomar-Vazquez, J., Pardo-Pascual, J., Sebastia, L., Recio, J. (2011). A technical solution to allow off-line mobile map querying of discrete and continuous geographic attribute data. *Cartographic Journal*. In press (DOI 10.1179/1743277411Y.0000000029).

Reichenbacher, T., 2003. Mobile Cartography – Adaptive Visualisation of Geographic Information on Mobile Devices. Thesis (Ph D). Institut für Photogrammetrie und Kartographie. Available from: <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/bv/2004/reichenbacher.pdf> [Accessed 16 April 2010].

Zipf, A. 2002. User-adaptive maps for location-based services (LBS) for tourism, in Woeber, K, A. Frew & Hitz (Eds.): *Proceedings of the 9th International Conference for Information and Communications Technologies in Tourism, ENTER, 2002* Springer, Heidelberg.

Cartografía de Calidad

Empresa certificada a la
calidad NOR ISO 9002



Avda. Hytasa, 38, Edificio Toledo, 1-4º
41006 SEVILLA
Tels.: 95 465 57 76 - 95 465 51 27 - Fax: 95 465 57 76
E-mail: invar@invarsl.com
www.invarsl.com

Sincronismo entre dos procedimientos GNSS. Levantamiento del arroyo de río seco en Almonte. Huelva

Synchronization between two GNSS procedure. Surveying the río seco stream in Almonte (Huelva, Spain)

Carlos Barranco Molina

Ingeniero Técnico en Topografía.Universidad de Huelva, España

Francisco Javier Sánchez Hidalgo

Ingeniero Técnico Forestal.Universidad de Huelva, España

Resumen

La realización de este trabajo surge debido a la necesidad del ayuntamiento de Almonte (Huelva) de recuperar y poner en uso las márgenes del cauce del arroyo Río Seco; ya que hasta la fecha, la zona mostraba un elevado grado de abandono siendo aprovechada eventualmente para la cría y doma de ganado equino y la extracción de caña (Arundo donax).

Por este motivo se solicita la elaboración de un plano topográfico de detalle, para su posterior utilización en la toma de decisiones y construcción de las distintas infraestructuras con las que se dotará a la zona, creando así un espacio que combine distintas actividades de ocio, investigación y turismo sostenible para el medio ambiente.

Palabras Clave: GNSS, GPS, GLONASS, RTK, Levantamiento topográfico, Almonte.

Abstract

The completion of this work arises from the need of the Almonte council to recover and bring into use the Rio Seco stream channel and its banks, considering that, to date, the area presents state of neglect, being eventually exploited for horse breeding and dressage, and also for Giant cane (Arundo donax) extraction.

For this reason, it's been requested the preparation of a detailed topographic map for later use in decision-making and construction of infrastructure in the area, creating a space to combine leisure activities, research and environmentally sustainable tourism.

Keywords: GNSS, GPS, GLONASS, RTK, Survey, Almonte

Introducción

El estudio que hemos realizado, se desarrolla en el término municipal de Almonte. El ámbito del proyecto comprende 78 ha formadas por un tramo del arroyo Río Seco de 2600 m. de longitud que discurre a lo largo del extremo oeste del núcleo urbano de Almonte. La zona quedó finalmente delimitada al incluir una franja de 150 metros a cada lado del cauce a lo largo de los 2600 metros de cauce a estudio.

Se prestó especial atención a dos zonas, una destinada a construir una pasarela peatonal sobre el cauce del río y otra destinada a unos almacenes abandonados junto a la entrada principal del Pueblo.

El proyecto se realizó en 15 días, los cuales se dividen en 9 días de trabajos de campo y 6 días de trabajo en gabinete. Cada día se trabajaron jornadas de 8h. Con un equipo de trabajo humano que se constaba de 4 miembros, un ingeniero técnico en topografía, dos auxiliares de topografía, un peón-vigilante.

El objetivo principal consistió en elaborar una metodología de trabajo que rentabilizara al máximo el tiempo y el personal utilizado, pudiendo aplicarla posteriormente a futuros trabajos de características similares. Para ello, la realización de este trabajo estuvo marcada por la necesidad de usar instrumentos de última tecnología en cuanto a medición topográfica, debido a la precisión exigida y



Figura 1: Localización de la zona de trabajo

a la extensión de la zona de estudio. Para la elaboración de nuestro estudio se contó con dos receptores GPS Topcon. Un modelo GR-3 y un modelo Híper Pro. El modelo GR-3 es un receptor capaz de rastrear 2 sistemas de posicionamiento de satélites (GPS y GLONASS), que incluye 72 canales, mientras que el modelo Híper Pro, más obsoleto, tan solo es capaz de rastrear el sistema de posicionamiento GPS, incluyendo 40 canales.

Ambos se utilizaron en modo RTK utilizando la banda de radio integrada UHF en modo analógico, con la posibilidad de comunicación por tarjeta GPRS pero solo para el equipo moderno, para efectuar las correcciones obteniéndose así la precisión centimétrica exigida en el proyecto.

Metodología

Metodología del trabajo en campo

Antes de proceder al levantamiento, se tuvo que organizar el proceso en varias fases necesarias, buscando así, el máximo rendimiento de la jornada de trabajo y el aprovechamiento adecuado de los recursos de los que disponíamos.

Establecimiento de bases: Tras un reconocimiento previo completo del área de estudio, el primer paso fue el establecimiento de los puntos concretos que nos servirían para situar las bases GPS, para trabajar en modo RTK. Estos puntos se designaron en función del área total a cubrir, de la topografía del terreno, de la vegetación de la zona evitando, que esta redujese la señal satelital, al situarnos bajo copas de los árboles o en zonas de densa maleza y de la facilidad de accesos con vehículos al punto base. Finalmente se situaron 7 puntos bases que nos permitirían obtener una cobertura de radio y señal satelital óptima en toda la zona.

División del área total en zonas de trabajo y señalización de las mismas: Manejar la información correspondiente 78 ha. de terreno, resulta incómodo y ralentiza el trabajo de los operarios al encontrarse con demasiados datos a los que se debe atender, por eso se decide dividir el área total de la zona de estudio en otras parcelas más pequeñas que hagan el trabajo más sencillo y productivo.

Esta división en parcelas más pequeñas se realiza intentando buscar superficies del tamaño adecuado para que en cada una se corresponda con una jornada de trabajo. Así se establecen unos objetivos diarios que marcarían el ritmo de trabajo del personal de campo.

Preparación de fotografías aéreas: Las fotografías aéreas se convierten en una potentísima herramienta de trabajo de incalculable valor, ya que nos proporcionan gran información de la zona de estudio tanto en el campo como en gabinete. Nos permite analizar a priori las características del terreno y la mejor forma de organizar los trabajos a realizar, y a posteriori, resolver dudas que nos surjan en la fase de edición posterior del trabajo. Pero su principal utilidad, en nuestro caso, fue sobre el propio terreno, pues nos sirvió de guía para la elaboración de croquis en campo, posicionamiento de las bases y obtención de una visión de la zona tanto parcial, como general, teniendo así, referencia de la situación donde nos encontrábamos en cada momento. Para preparar las fotografías aéreas, utilizamos aplicaciones como Google Earth, y a veces Google Maps, que nos dotaban de las



Figura 2: Estacionamiento de las bases

prestaciones necesarias y precisas, con una resolución aceptable para nuestras necesidades.

Sincronización de equipos: Utilizar dos equipos de medición GPS distintos conectados a la misma estación base, supuso una serie de problemas a los que tuvimos que enfrentarnos, pues cada uno contaba con unas características propias debido a la tecnología utilizada en el momento de su fabricación. El primer problema que surgió fue la diferencia entre frecuencias de radio con las que trabajaban los instrumentos. Mientras que el Topcon Híper Pro trabajaba en modo analógico con una radio modem UHF, el modelo Topcon GR3, más moderno, trabajaba por defecto con radio UHF digital,

por ello se igualaron las frecuencias con el más antiguo. El siguiente problema vino propiciado por los geoides utilizados. El modelo Híper Pro, trabajaba con un único modelo, mientras que el modelo GR3 tiene la posibilidad de elegir sobre una gran variedad de modelos. Para solucionar ambos problemas, configuramos el receptor Topcon GR3 con las características propias del modelo Híper, es decir, en la misma frecuencia de radio, en modo analógico y con el mismo modelo de geode.

Puntos de comprobación: El último paso antes de proceder a la toma de datos, fue la comprobación en campo de la correcta calibración de los instrumentos con la misma configuración que el día anterior, pues de no ser así, todos los datos que se tomasen en esa jornada de trabajo podrían ser erróneos, comprometiendo todo el trabajo realizado. Esta comprobación se hizo de forma diaria al comienzo de cada jornada, utilizando nuestros 7 puntos base como puntos de comprobación, lo que nos permitió tener la precisión y fiabilidad deseada.

Toma de datos: Antes de comenzar, debíamos tener claro cuál era la información que necesitábamos. Para la elaboración de planos, utilizamos los receptores GPS para obtener coordenadas UTM de puntos concretos. Al obtener multitud de puntos de una



Figura 3: Equipo y zona de trabajo



Figura 4: Los dos equipos GPS

puntos cada 20 metros como media a ambos lados de la calzada y otras líneas marcando los arceños cuando fueran necesarios. Para los cursos de agua tomamos los puntos, con la distancia necesaria para que sea visible cada cambio de dirección del mismo, en ambas orillas y en el eje principal del río. En el caso de las vallas, tomamos puntos cada 20 metros si es recta, o en caso contrario, tomamos puntos en cada cambio de dirección de la misma. Es importante marcar el comienzo y final de la misma, además de las intersecciones con otras vallas o puertas de entrada y salida.

misma zona con la suficiente cercanía nos permitió crear una minuta del relieve del terreno, de las construcciones de la zona, caminos, carreteras, cursos de agua, etc. La precisión de nuestro estudio dependía del número de puntos que tomásemos y la cercanía entre ellos. Se hizo una discriminación entre dos tipos de puntos:

Puntos significativos: Son los que iban a proporcionar la información de cada uno de los detalles del plano, permitiéndonos así, representar fielmente toda la información exigida. Se hizo una distinción de los puntos significativos según la función que desarrollaran, para tomar la información de la forma más útil posible:

Puntos de Líneas: Estos son los que forman una continuidad lineal como líneas eléctricas y telefónicas, caminos y carreteras, cursos de agua, vallas. Los puntos para líneas eléctricas y telefónicas se marcaron mediante dos o más puntos, los cuales podían estar situados, bien los postes de ellas, o debajo de dichas líneas, para conocer y representar las direcciones de estas. En el caso de carreteras y caminos, tomamos

Puntos de detalle: Estos eran puntos concretos que señalizan edificaciones y construcciones, arquetas, pozos, postes, zonas de vegetación importante o cambios en el uso del suelo y escombros. En el caso de arquetas, postes, se tomaba un único punto. Para el resto, por norma general, se toman varios puntos a lo largo de su perímetro para dejarlos bien señalizados.



Figura 5: Labores de toma de puntos

que volver a la zona de estudio

Metodología de trabajo en gabinete

El volcado de datos debía realizarse diariamente antes de finalizar la jornada de trabajo, descargando el archivo de datos desde la controladora de campo de nuestro receptor GPS al ordenador obteniendo una nube de puntos que tendríamos que editar, transformar y modificar. Para dicho proceso utilizamos el programa MDT 4.0, montado sobre Acad Map 2002. Cada punto se corresponde con otro homologado tomado en el terreno y contiene toda la información geográfica y adicional propia. En nuestro caso, esta información se resumía en el formato visible típico: Formato ASCII, separado por comas, en el orden "Número de Punto, Coordenadas UTM, X, Y y Z, y Código.

La edición de la nube de puntos, comenzó creando las líneas de referencia del eje del río y las orillas del mismo, lo que nos daría una imagen general de la zona de estudio. A continuación creamos las líneas de fácil identificación que nos permitiera situarnos en el plano, como es el caso de la autopista, carreteras, caminos, edificaciones y construcciones.

Llegados a este punto, ya teníamos suficientes referencias claras para trabajar con los puntos que representaban pequeños detalles y líneas auxiliares. Las primeras líneas a editar fueron las vallas que existían separando y subdividiendo el gran número de parcelas catastrales. Se continuó con líneas auxiliares que representaban las líneas eléctricas y telefónicas, zonas de escombros, zonas de vegetación, etc.

Por último se editaron las zonas y detalles puntuales como alcantarillas, desagües, pozos, zonas de cañaveral, puentes, entradas de parcelas, etc., detalles necesarios para aportar toda la información necesaria exigida en nuestro estudio. Cada línea y punto específico creado se incluyó dentro de la capa de trabajo adecuada, lo que nos permiti-



Figura 8: Detalle de una zona del plano

ó trabajar con más comodidad para desarrollar el curvado y nos permitió crear un plano tan solo con la información necesaria, omitiendo las líneas y puntos que solo utilizamos de apoyo para la elaboración del plano.

La edición altimétrica consistió en la elaboración de un modelo digital del terreno que nos permitiría la creación de las curvas de nivel de la superficie en función de los datos proporcionados. La creación de curvas de nivel con el software es un proceso sencillo en el que se realiza de forma automática según unas características que debemos de haber definido previamente, siempre y cuando, toda la información que proporcionemos al software sea correcta.

El siguiente paso a seguir fue definir cuales iban a ser las líneas de rotura del terreno (líneas que en nuestro caso definimos previamente en la edición planimétrica).

Las líneas de rotura son fundamentales porque son en las que el programa se apoya al realizar la triangulación previa al curvado, evitando que sean cortadas cuando no proceda, forzando a que las curvas mantengan la forma real del terreno. Con las líneas de rotura ya definidas, y los puntos, se generó una red irregular de triángulos TIN. Una vez generado este, y con ayuda de las líneas de rotura, se generó, mediante el programa, el curvado del



Figura 9: Plano final

terreno con una equidistancia de 0.5 m. como habíamos definido previamente.

El último paso fue realizar la transformación de las coordenadas elipsoidales proporcionadas por los dos equipos, a coordenadas exigidas en el sistema ETRS89, oficiales en el territorio nacional. El procedimiento consistió en tomar datos de varios puntos conocidos, nuestras bases señaladas, respecto a un vértice geodésico oficial, en nuestro caso el vértice geodésico oficial de segundo orden del instituto geográfico nacional nº 98260 y así poder situarlos junto al resto de los puntos tomados, en coordenadas oficiales. Lo que se busca con este proceso es tomar información de dos puntos distinto en el mismo instante, para que no exista ninguna diferencia respecto a la posición obtenida con los satélites. Con los datos obtenidos

realizamos una transformación de Helmert, utilidad que permite realizar un cambio de sistema de coordenadas mediante una lista de coordenadas origen y destino. El programa determina los coeficientes de la ecuación lineal de transformación A y B, los desplazamientos X e Y, y la escala y ángulo aplicado, mediante un ajuste por mínimos cuadrados. Son necesarios al menos dos pares de puntos comunes.

Resultados y conclusiones

El resultado final de nuestro estudio fue la elaboración de dos planos topográficos:

El que abarca menor superficie tiene escala digital con nivel de detalle equivalente a 1/750. En él se incluyen detalles planimétricos (vallas, lindes, edificaciones aisladas, etc.), representando la zona del edificio y de apoyo de la pasarela con un curvado con equidistancia de 0,25 m. Las Coordenadas UTM están basadas en un nuevo datum ETRS89.

El que abarca mayor superficie, (91 ha.) tiene escala digital con nivel de detalle equivalente a 1/1000. En él se incluyen detalles planimétricos (superficies ocupadas por vertidos de escombros, vallas colindantes con el cauce del arroyo), con detalle de los puentes sobre el arroyo y con un curvado con equidistancia de 0,50 m. Las Coordenadas UTM están basadas también en el datum ETRS89.

Las características con las que se han diseñado ambos planos, proporcionan las condiciones necesarias para ofrecer unas condiciones ideales de legibilidad y claridad en los elementos que se quiere exponer.

Como conclusión final debemos destacar la importancia de una buena organización previa, ya que un trabajo bien planificado nos puede ahorrar tiempo y personal innecesario, lo que puede permitir obtener mejores resultados con costes más reducidos.

Referencias

Núñez, A.; Valbuena, J.L.; EVOLUCIÓN DE LA GEODESIA Y GPS. COIT Topógrafos. Madrid, 1990.

TCP. Modelo Digital del Terreno, V4, Manual de Referencia. 2006.

Topcon Tools TM. Manual de Referencia. Topcon Positioning Systems, Inc. 2005.

Estudio toponímico del área de Alqueva (Badajoz, Extremadura)

José Manuel Naranjo Gómez, Jerónimo García de Prado, Luisa María Rivas Quesada Georama, S.C.

José Antonio Mateos Martín, Carmen Caballero Cáceres, Marcos Soriano Covarsí Centro de Información Cartográfico y Territorial de Extremadura, España

Resumen

El proyecto "ESTUDIO Y TRABAJO DE CAMPO DE TOPÓNIMOS EN EL ÁMBITO DE ALQUEVA (BADAJOZ)", surge con la necesidad de recoger y conservar los topónimos ante la paulatina desaparición de los modos tradicionales de vida vinculados al medio rural y el abandono progresivo del mismo.

El estudio y trabajo de campo a desarrollar se enmarca dentro del proyecto "Proyecto Estructurante para el desarrollo de las tierras del Gran Lago de Alqueva", aprobado dentro del Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal, dentro de su eje nº2: Medio Ambiente, patrimonio y prevención de riesgos; Lema "Una manera de hacer Europa" y está cofinanciado con fondos FEDER (75%) y Fondos Comunidad Autónoma (25%).

Desde la Junta de Extremadura, por parte de la Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo, a través de la Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo (en adelante DGOTU), en conjunción con Georama, S.C., se ha abordado la recogida de toda la toponimia existente en el ámbito de Alqueva, conformado por los términos municipales de Olivenza, Cheles, Alconchel, Táliga y Villanueva del Fresno, para producir el Atlas Toponímico de Alqueva.

Esta información ha sido codificada en una gran base de datos toponímica, localizada sobre ortofotografías del PNOA del 2009 integrado en un Sistema de Información Geográficos, para su utilización en distintos ámbitos tanto público como privado.

Palabras clave: Alqueva, Territorio, Toponimia, Atlas

Abstract

The disappearance of traditional ways of life, causes the progressive abandonment of rural areas. The "STUDY AND FIELD WORK IN THE FIELD OF TOPONYMS ALQUEVA (Badajoz)," arises the need to protect and preserve the names.

The study and fieldwork to be developed within the project "Project Structuring the development of the lands of the Great Lake Alqueva" adopted in the Operational Programme Cross Border Cooperation Spain-Portugal, within its axis 2: Environment heritage and risk prevention; Motto "One way to make Europe" and is co-financed with FEDER funds (75%) and Autonomous Funds (25%).

From the Junta de Extremadura, by the Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo, in conjunction with Georama, SC, has undertaken the collection of all the place names existing in the area of Alqueva comprising the townships of Olivenza, Chelan, Alconchel, and Villanueva del Fresno Táliga to produce the Atlas Toponymic Alqueva.

This information has been encoded in a large database of place names, located on the 2009 orthophotos of PNOA integrated into a Geographic Information System for use in various public and private spheres.

Key words: Alqueva, Territorio, Toponimia, Atlas

Introducción

Desde la Junta de Extremadura, la Dirección con competencias en materia de Ordenación del Territorio y Urbanismo ha venido realizando desde el año 1.991 estudios con distinto alcance territorial y contenido temático con el objeto de profundizar en el conocimiento de la realidad regional extremeña.

Entre la información geográfica cobra un peso significativo la toponimia, los nombres propios del territorio, especialmente con la dimensión de nombres geográficos como “datos geográficos” referentes a localizaciones o zonas geográficas específicas. Este es el sentido recogido en la Directiva 2007/2/CE INSPIRE, encaminada hacia el establecimiento de un amplio conjunto de informaciones cuya existencia, accesibilidad, calidad e interoperabilidad deben quedar aseguradas por parte de las Administraciones Públicas. Esta directiva ha sido recientemente transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España.

Desde esa perspectiva se enfoca el estudio y trabajo de campo de topónimos en el ámbito de Alqueva (Badajoz, Extremadura), enmarcado dentro del proyecto “Proyecto Estructurante para el desarrollo de las Tierras del Gran Lago de Alqueva”, aprobado dentro del Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal, dentro de su eje nº2: Medio Ambiente, patrimonio y prevención de riesgos; Lema “Una manera de hacer Europa” y está cofinanciado con fondos FEDER (75%) y fondos de la Comunidad Autónoma (25%).

La zona de trabajo no escapa a los trazos señalados respecto al peso y consideración tradicional de la toponimia desde el punto de vista filológico y especialmente en relación con la banda fronteriza con Portugal, ámbito de La Raya¹, con aportaciones específicas y líneas de trabajo muy interesantes².

Ámbito territorial

El marco de trabajo forma parte de la Comunidad Autónoma de Extremadura, dentro de la provincia de Badajoz, y lo integran los municipios del ámbito de afección del Embalse de Alqueva, con la incorporación de Táliga, que si bien no es un municipio ribereño del embalse sí está incluido en el alcance de un plan de ordenación territorial vigente en la zona³:

- ALCONCHEL
- CHELES
- OLIVENZA
- VILLANUEVA DEL FRESNO
- TÁLIGA

Para un mejor tratamiento de la información, y dada la dimensión espacial inherente a ciertos topónimos, la zona de trabajo se completa mediante la delimitación de la zona de influencia perimetral (búfer) de 200 metros para cada uno de los términos municipales en el ámbito español. Las superficies territoriales manejadas son:

- Superficie sin 200 m de búfer ◊ 115.361,84 has
- Superficie con 200 m de búfer ◊ 119.202,30 has

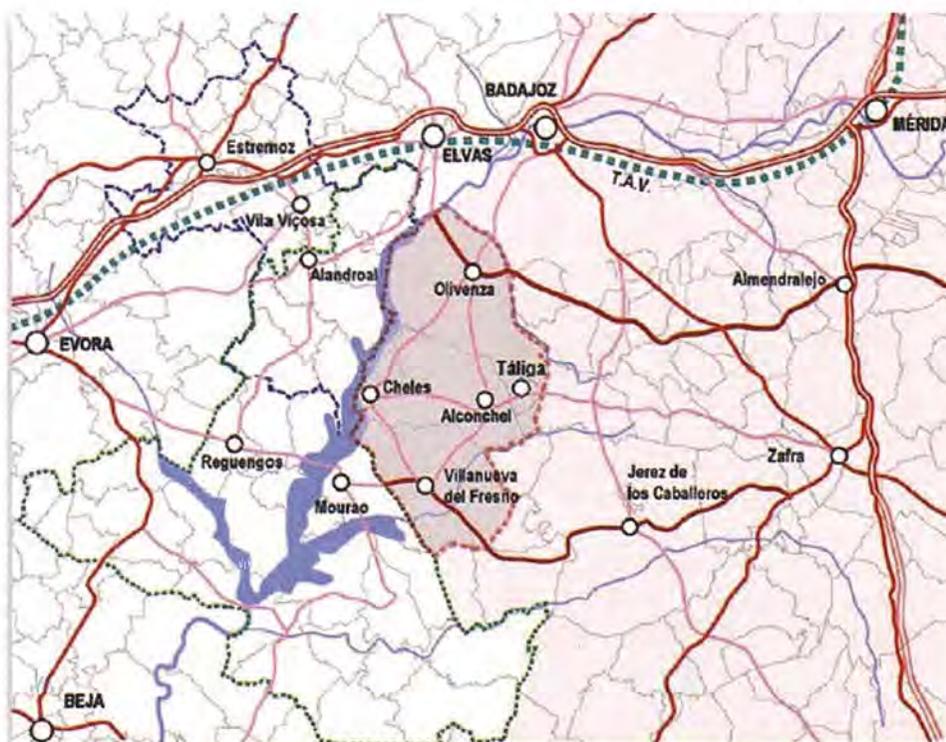


Gráfico 1: Ámbito de Alqueva.

Fuente: plan territorial del área de influencia del embalse de Alqueva

Metodología de trabajo

La secuencia metodológica seguida se expone en el siguiente gráfico y se detalla en los siguientes epígrafes.



Gráfico 2: Etapas de ejecución
Fuente: elaboración propia

Reconocimiento territorial y diseño de metodología

De acuerdo con pautas metodológicas ya ensayadas⁴ y el Proyecto de Toponimia en la Generación de la Cartografía Conjunta del Tajo Internacional de la DGOTU de la Junta de Extremadura) y dadas las características del ámbito, el municipio se presenta como la unidad territorial de base para la recogida de la toponimia.

En primera instancia se inició un trabajo de reconocimiento territorial del ámbito, facilitado por la disponibilidad de la información elaborada para la realización del Plan Territorial del Área de Influencia del Embalse de Alqueva, elaborado para la DGOTU. Esa información de caracterización incluye un amplio conjunto informativo y abundante cartografía temática, complementada con la información cartográfica de base más actualizada.

A partir de este reconocimiento territorial inicial, se busca la implicación y colaboración de los municipios en el proyecto a través de los distintos agentes locales existentes, Ayuntamientos, tejido asociativo y colectivos diversos (desde asociaciones culturales a cazadores, etc.) así como referentes administrativos de carácter comarcal o mancomunado cuyo ámbito de trabajo sea la zona

de estudio (Mancomunidades, oficinas comarcales y personal de servicios de la administración regional -Junta de Extremadura- presentes en el territorio).

Revisión y vaciado del contenido toponímico de fuentes documentales

El trabajo inicial de inventario y revisión de fuentes ha servido para valorar el contenido en información toponímica de la cartografía existente, contenido que se recogió y volcó en una base de datos. Entre esta documentación cartográfica merece destacarse, por su aportación más nutrida, la cartografía base del ámbito de actuación, especialmente las escalas 1:10.000 y 1: 25.000. Los trabajos cartográficos y las localizaciones en campo se cotejaron con las ortoimágenes del PNOA para el ámbito de trabajo⁵.

Las principales fuentes fueron las siguientes:

a) BCN25 (Base Cartográfica Nacional 25.000). Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La Base Cartográfica Numérica a escala 1:25.000 (BCN25) se inicia en 1995 con el objetivo de proporcionar una infraestructura de datos geográficos digitales básicos de cobertura nacional⁶ a escala 1:25.000. La BCN25 tiene un carácter cartográfico, debido a que procede del MTN25, con geometría desplazada en caso de conflicto. Como producto final se obtiene un conjunto de ficheros, semántica y analíticamente correctos, que cubren

la totalidad del territorio, uno por hoja del MTN25, con continuidad asegurada a través del case de hoja.

Desde el proyecto se hizo un volcado y una revisión de toda su información toponímica. Las hojas utilizadas para ello fueron: 800-4, 801-3, 801-4, 852-1, 852-2, 852-3, 852-4, 873-2, 874-1, 874-2, 874-3, 874-4.

b) BTN25 (Base Topográfica Nacional 25.000). Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Para solventar las limitaciones cartográficas de la BCN25⁷, comienza en 2006 el proyecto Base Topográfica Nacional de España a escala 1:25.000 (BTN25). Su objetivo es obtener una base de datos geográfica tridimensional con carácter topográfico, ya que las geometrías de sus elementos no están sometidas a procesos de redacción cartográfica, es decir, que están representados en su situación geográfica original. Para obtener este producto se modifica el flujo de producción, es decir, la BTN25 sirve de base para la elaboración y edición del MTN25 (y no al revés, como ocurría con BCN25). Para el volcado toponímico del presente trabajo se utilizaron las hojas: 800-2/4, 801-1/3/4, 826-2/4, 827-1/2/3/4, 851-2/4, 852-1/2/3/4, 873-2, 874-1/2.

c) SGE50. Servicio Geográfico del Ejército (SGE). Mapa Topográfico a escala 1:50.000⁸.

En 1986 se publica la última hoja de la Serie L (1:50.000), cartografía básica para las Fuerzas Armadas. De la cartografía a escala 1/50.000 del SGE se volcaron los topónimos correspondientes a las hojas planimétricas: d800, d801, d826, d827, d851, d852, d874. Otra fuente utilizada fue el vuelo americano realizado en 1956 y gestionado por el CECAF (Centro Cartográfico y Fotográfico).

d) CATASTRO. Cartografía procedente de los trabajos de la Gerencia Territorial de Catastro de Extremadura⁹, en Badajoz, y facilitada desde la DGOTU (Junta de Extremadura). La cartografía catastral se subdivide de manera básica en urbana, para núcleos de población, y rústica, para predios y parajes rurales en general. Se utilizó principalmente cartografía a escala 1/10.000 para obtener toponimia de la zona así como las ortofotografías correspondientes y también para la revisión, corrección e introducción de toponimia en la cartografía generada para los planes de ordenación, desechando la correspondiente a la urbana y centrándonos en la cartografía de rústica.

Las hojas utilizadas fueron: 06007r, 06042r, 06095r, 06129r, 06154r.

En esta cartografía se detectaron algunos errores de transcripción, no obstante fue una buena fuente de información para la red viaria caminera. Del va-

ciado del catastro se obtuvieron además numerosos elementos puntuales sin referencia toponímica expresa (ruinas, pozos, charcas, etc.), en cualquier caso estimados de interés, extraídos y organizados en un fichero.

e) CTEX_10 (Cartografía 1/10.000). Junta de Extremadura. DGOTU (Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo).

La cartografía 1:10.000 se realiza con el objeto de conseguir una cobertura continua y completa de todo el territorio extremeño¹⁰, utilizada como cartografía base para el planeamiento urbanístico.

Esta cartografía se presenta en diversos formatos: DGN, DXF y papel, orientada sobre todo para su tratamiento en entorno SIG¹¹. A finales de 1998 se disponía del 45% de Extremadura a escala 1:10.000. En 2007 se terminó de cubrir el conjunto de Extremadura a escala 1:10.000.

Las hojas utilizadas para el volcado toponímico son:

- 800e08/12/16,
- 801e01/05/06/09/10/13/14/15,
- 826e04/08/11/12/15/16,
- 827e01/02/03/05/06/07/09/10/11/13/14/15,
- 851e03/04/07/08/11/12/16,
- 852e01/02/03/05/06/07/09/10/11/13/14/15,
- 873e04,
- 874e01/02/03/05/06.

f) NGBE (Nomenclátor Geográfico Básico de España)

Se trata de una primera versión de carácter provisional¹² en la que se han extraído todos los topónimos de la Base Cartográfica Numérica 1:25.000 (BCN25) y se han sometido a una depuración somera consistente en la eliminación parcial de los topónimos repetidos y la eliminación total de los topónimos correspondientes a países extranjeros.

Es un corpus de más de 790.000 nombres geográficos con coordenadas en el Sistema de Referencia ED50, tanto geográficas (latitud, longitud) como proyectadas (UTM: X e Y), clasificados según 75 clases, que cubren toda España (excepto Islas Canarias, actual objeto de estudio) y recogen la riqueza toponímica contenida primero en el MTN50 y luego ampliada en la formación de la BCN25.

g) CATÁLOGO DE CAMINOS. La Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de la Junta de Extremadura ha elaborado este Catálogo de Caminos Públicos de la Comunidad Autónoma en formato digital, con el propósito de facilitar la consulta de los datos de las vías rurales públicas. Para la zona que nos ocupa se ha podido contar sólo con el catálogo de caminos de los términos de Alconchel y Tálaga (DOE 15 de mayo de 2009), debido a que son los únicos Ayuntamientos que nos lo pudieron suministrarlo.

h) VÍAS PECUARIAS. La Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de la Junta de Extremadura ha elaborado distintos estudios de inventario y catalogación del conjunto de vías pecuarias de Extremadura. De la zona en estudio se comprobó a través de la página web¹³ que sólo están inventariadas y clasificadas las correspondientes al término de Villanueva del Fresno, con 9 cordeles.

i) OTRAS FUENTES.

-Bibliográficas

- NOMBRES DE FRONTERA: ESTUDIO TOPONÍMICO DE OLIVENZA Y TÁLIGA. Autor: Antonio María Castaño. Edita: Diputación Provincial de Badajoz. Enero de 2004.

- Guía turística de la Comarca de Olivenza. Edita: ADERCO (Asociación para el desarrollo Rural de la Comarca de Olivenza). 2ª Ed: noviembre 2008.

- Historia de Olivenza. Autor: Gregorio Torres Gallego. 1ª Ed: Olivenza, julio de 2003.

- Molinos y molineros de la Comarca de Olivenza. Autor: Jacinto Gil Sierra. Edita: ADERCO (Asociación para el desarrollo Rural de la Comarca de Olivenza). 1ª Ed: septiembre 2008.

- Cheles Villa Fronteriza. Autor: José Antonio Torrado González. Editor: Diputación Provincial de Badajoz, 1999.

- Olivenza en su historia. Autor: Miguel Ángel Vallecillo Teodoro. 1ª Edición 1999.

- Manuscrito de la revisión de la Tesis Doctoral de D. Manuel Martínez Martínez: "El enclave de Olivenza, su historia y su habla". Realizado por Luis Alfonso Limpo Piriz en el año 2011.

-Cartográficas

Plano antiguo de Alconchel a escala 1/25.000 del Término Municipal de Alconchel diseñado por el delineante D. Federico Gaspar Díaz en el año 1922. Este plano se encuentra en el Ayuntamiento de Alconchel.

Criba y depuración de los topónimos resultantes de la fase de vaciado

Tras el volcado de topónimos se realizó una criba dejando como resultado una única base de datos que se utilizó como minuta de partida para los trabajos de verificación y complementación de topónimos, la denominada fase de "encuesta oral".

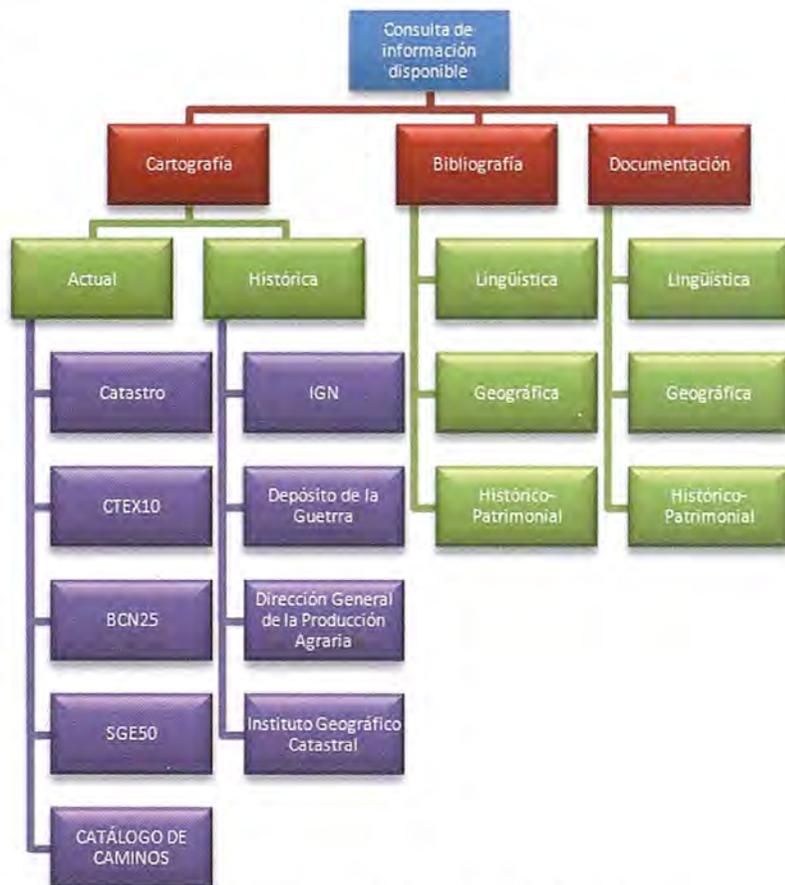


Gráfico 3: Esquema de recopilación de datos

Fuente: elaboración propia

Recogida por encuesta oral

Este es el aporte principal de información y el eje del trabajo. El objetivo principal de la fase de encuesta oral era contrastar con informantes locales la base de datos obtenida de las distintas fuentes documentales y en caso necesario matizar o complementar dicha información con registros nuevos o posibles variantes.

En esta fase los pasos a seguir fueron los siguientes:

1) Recopilación y contacto con los diferentes agentes intermediarios en el proyecto para la ob-

tención de información.

2) Elaboración de la documentación previa necesaria para la ejecución de los trabajos de campo (carta de presentación, fichas de recogida de información, estructura a seguir para la realización del estudio...).

3) Realización de la encuesta oral.

A. Selección de informantes

En primer lugar, se establecieron los criterios de selección de los informantes siendo imprescindible el conocimiento cualitativo del espacio. Así el primer grupo a contactar estaba compuesto por: alcaldes, cronistas locales, técnicos de campo, guardas forestales, asociaciones de desarrollo rural y grupos de acción local.

Además se estableció contacto con otros grupos de interés como: Hogar del Pensionista, museos, bibliotecas, Universidad Laboral etc....

Tras la cuestación técnica, se procedió a entrevistar a personas con conocimientos de la toponimia y geografía del lugar, este otro grupo estaba formado por: cazadores, pescadores, agricultores, vecinos mayores del ámbito...

Debemos resaltar la colaboración de los ayuntamientos en la búsqueda de testigos adecuados. El general el perfil del informante fue hombre de edad superior a los 40 años, nacido en la zona, con ocupación vinculada a la actividad agro-ganadera y forestal (guarda forestal, ganadero, agricultor o cazador....).¹⁴

B. Metodología para la realización de la encuesta oral

En primer lugar se procedió a la formación de los encuestadores, cada encuestador acudió a realizar las entrevistas con un conocimiento apropiado de la zona, tanto de la toponimia, como de la orografía, caminos, etc.

El material de partida para realizar las encuestas fue:

- Fichas del informante. Facilitada por la DGOTU.
- Ortofotografía con la toponimia resultante después de cribar el volcado de topónimos de las distintas fuentes documentales.

Durante las entrevistas y con la ayuda de la ortofotografía se barrió toda la superficie que comprendía los distintos términos municipales comprobando, modificando o incluyendo los correspondientes topónimos.

Los topónimos que se confirmaron como correctos fueron marcados en la ortofotografía, únicamente se rellenó la ficha del informante con aquellos que eran nuevos o modificados por los encuestados al igual que las posibles variantes que fueron surgiendo.

JUNTA DE EXTREMADURA Consejería de Fomento Dirección General de Urbanismo e Ordenación del Territorio FICHA DE CAMPO DEL INFORMANTE			
			Nº DE ENCUESTA:
DATOS DEL INFORMANTE			
NOMBRE/APELLIDOS INFORMANTE:			
EDAD:	OCUPACION:	NIVEL DE FORMACION:	
LUGAR DE NACIMIENTO:		LUGAR DE RESIDENCIA:	
DATOS GENERALES			
LOCALIDAD DONDE SE RECOPILO:		FECHA DE RECOPILO:	
DATOS DEL TOPONIMO			
TOPONIMO:		FONETICA:	
VARIANTE 1:		VARIANTE 2:	
Nº TOPONIMO:		CONTRASTE ORAL:	
TIPOLOGIA GEOGRAFICA:			
MUNICIPIO:		COMARCA:	COORDENADAS UTM:
Nº MAPA Y FUENTE (Catastro, IGN, ...):			
UNICO:	COMUN:	LOCALIZADO EN MAPA:	TIPOLOGIA:
<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> LINEAL
<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SUPERFICIAL
			<input type="checkbox"/> PUNTUAL

Gráfico 4: Modelo de ficha para la recogida de datos
Fuente: Consejería de Fomento (DGOTU)

Las fichas resultantes de este trabajo de campo se desglosan a continuación por término municipal:

- Alconchel: 215 fichas
- Cheles: 45 fichas
- Olivenza: 239 fichas
- Tálaga: 78 fichas
- Villanueva del Fresno: 507 fichas

La recogida oral en muchos casos fue más productiva haciendo la entrevista simultánea con dos o más personas de edad aproximada.

En los casos en los que se contó con la disponibilidad de los informantes se hicieron rutas de reconocimiento sobre el terreno, concretamente en Olivenza se realizaron varias salidas al campo por todo el término municipal con guarda forestal, técnico de Medio Ambiente de la Junta de Extremadura y agricultores de la zona.

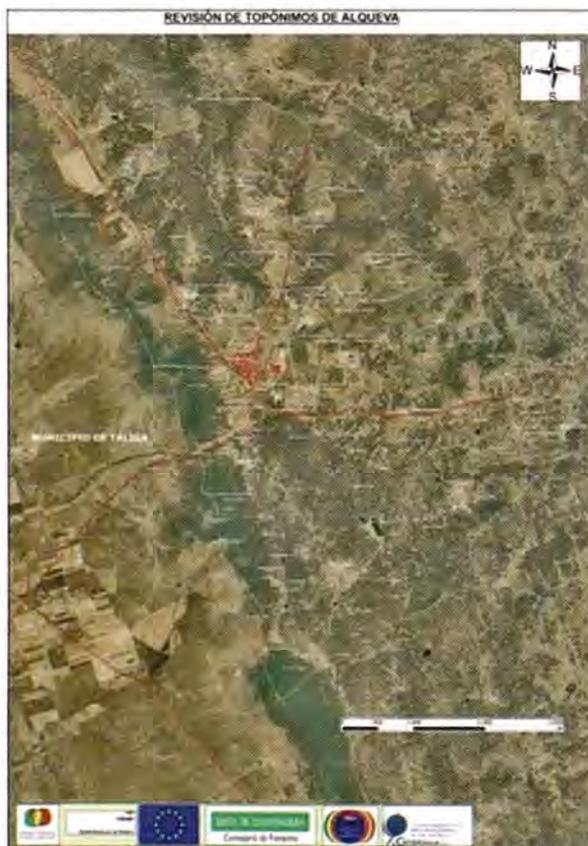
Minuta toponímica y presentación de los resultados en exposición pública

La compilación de los topónimos recogidos, con la disposición conjunta de la cartografía y los datos geográficos a una escala adecuada compusieron una minuta toponímica.

La minuta toponímica, fue expuesta públicamente en los Ayuntamientos de las correspondientes localidades. Para poner en conocimiento a la población de esta exposición y recogida de alegaciones por parte de los Municipios se realizaron bandos y por parte de GEORAMA se hicieron una serie de carteles divulgativos y llamadas telefónicas a algunos de los informantes que habían participado en las entrevistas.

Las correcciones, de los ciudadanos y conocedores del territorio, era una fase fundamental para la consecución de un producto consensuado y definitivo.

La recogida de alegaciones básicamente se realizó mediante unas fichas adaptadas para ello en las que se pedía a los ciudadanos que marcarán sobre el plano un número en la posición exacta en la se encontrara el nombre del lugar que desearan modificar o añadir. Además se les hacía saber que el número asignado no debería coincidir con ningún otro que estuviese ya marcado sobre el plano.



Gráf.5: Montaje sobre ortofoto para exposición pública (Táliga)
Fuente: elaboración propia

Base de datos toponímica de referencia

Los objetivos que se pretenden conseguir con la elaboración de esta base de datos, es la contribución a la conservación de un patrimonio cultural en el que los parámetros lingüísticos y geográficos queden perfectamente definidos y posibiliten, la codificación y localización geográfica para su integración en la Infraestructura de Datos Espacial de Extremadura (www.ideextremadura.es), partiendo de la ortofotografía y cartografía como documento base de trabajo.

Como se describió en fases anteriores los elementos que se encuentran en esta base de datos provienen de las fases de criba de las diferentes fuentes de información, de las encuestas realizadas a informantes seleccionados y de las alegaciones recogidas durante la fase de exposición pública.

Atlas toponímico

Características

De cara a la difusión de la información, con una finalidad divulgativa, se planteó la realización de un atlas toponímico del ámbito. Para facilitar la localización e interpretación tanto del topónimo como de su contexto, se optó por una presentación esencialmente visual, apoyada sobre la ortofotografía del PNOA¹⁵.

Siguiendo con las especificaciones de referencia de la información toponímica, todos los topónimos aparecen georreferenciados en el sistema geodésico de referencia ETRS89 y la proyección cartográfica utilizada ha sido la proyección conforme Universal Transversa de Mercator (UTM), referido al huso 29.

Los topónimos aparecen representados sobre hojas apaisadas en formato A3, la numeración de las hojas es de norte a sur y de izquierda a derecha, además todas las hojas están orientadas al norte y a una escala de representación de 1:15.000, las cuales muestran un solape entre cada una de las hojas a cada uno de sus lados de 300 m. Todos los nombres relacionados con elementos construidos aparecen en regular y los alusivos a elementos naturales aparecen grafiados en cursiva.

La información superpuesta a la ortofoto-base aparece consta de por puntos y líneas. Los puntos representan la ubicación ideal del topónimo en el terreno y a dichos puntos se vincula la inserción del topónimo. Mediante líneas se representan los límites de los términos municipales; líneas límite oficiales provenientes del IGN pero que en función de la escala de trabajo se han ajustado sobre elementos como ríos, caminos y vías pecuarias cla-

ramente reconocibles sobre el terreno y las ortofotografías.

El Atlas toponímico del Alqueva ubica y esboza una sencilla interpretación temática mediante la clasificación de los nombres con dos perspectivas simultáneas y diferentes:

1. Tipología del topónimo: según la naturaleza del elemento al que hace referencia el topónimo.

Esta clasificación se divide en:

- Accidentes terrestres (sierra, puerto, pico, ladera, monte, valle, montaña, cueva, otros)
- Tierras (cultivos, barbecho, terreno mixto, dehesa, arboleda, prado, otros)
- Aguas (río, lago/laguna, embalse, parte de río, pozo, canal, arroyo, fuente, otros)
- Vías de comunicación (carretera, paso, pista, ruta, camino, sendero, otros)
- Edificaciones (edificación aislada, restos arqueológicos, edificio histórico, edificio singular, elemento de interés cultural, otros)
- Otros

2. Jerarquía del topónimo: según la extensión estimada en superficie del elemento a que hace referencia el topónimo. Esta clasificación se divide en:

- Microtopónimo: elementos puntuales.
- Mesotopónimos: elementos que disponen de pequeña superficie.
- Macrotopónimos: elementos que disponen de una extensa superficie.

Algunas claves de la información toponímica recogida

El número total de topónimos registrado es de 3.293, de distribución por término municipal 738 corresponden a Alconchel, 179 a Cheles, 1078 a Olivenza, 324 a Táliga y 973 a Villanueva del Fresno, lo que supone estadísticamente el 22.4%, 5.4%, 32.7%, 9.8%, 29.5% respectivamente.

En los siguientes gráficos y tablas se expone una somera aproximación para

la comprensión de las características del conjunto toponímico recogido.

- Lengua del topónimo
- Jerarquía del topónimo
- Clasificación del topónimo:
- Tipo del topónimo:

Referencias

Toponimia: Normas para el MTN25. Conceptos Básicos y Terminología (publicación técnica nº 42 del IGN)

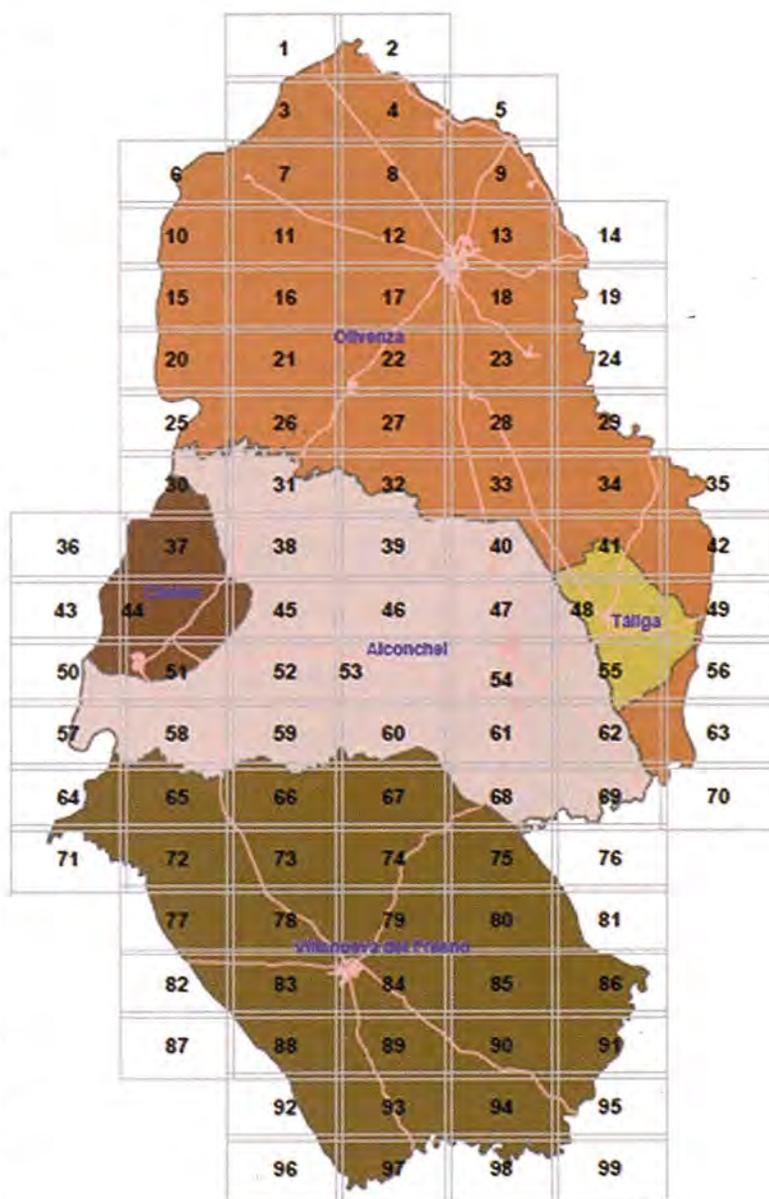


Gráfico 6: Gráfico de distribución de hojas.
Fuente: elaboración propia

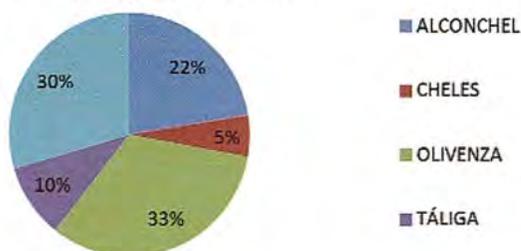


Gráfico 7: Hoja 48 correspondiente al atlas toponímico.

Fuente: elaboración propia

Guía turística de la Comarca de Olivenza. Edita: ADERCO (Asociación para el desarrollo Rural de la Comarca de Olivenza). 2ª Ed: noviembre 2008.

Gregorio Torres Gallego. Historia de Olivenza. 1ª Ed: Olivenza, julio de 2003.



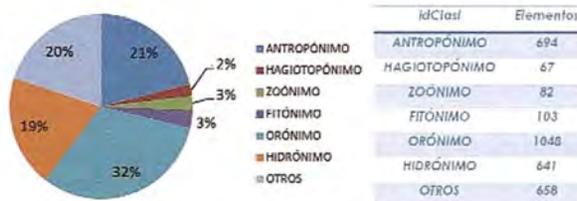
Jacinto Gil Sierra. Molinos y molineros de la Comarca de Olivenza. Edita: ADERCO (Asociación para el desarrollo Rural de la Comarca de Olivenza). 1ª Ed: septiembre 2008.

José Antonio Torrado González. Cheles, Villa Fronteriza. Diputación Provincial de Badajoz, 1999.

Miguel Ángel Vallecillo Teodoro. Olivenza en su historia. 1ª Edición 1999.



Manuscrito de la revisión de la Tesis Doctoral de D. Manuel Martínez Martínez: "El enclave de Olivenza, su historia y su habla". Realizado por Luis Alfonso Limpo Piriz en el año 2011.



José Antonio Mateos Martín. Toponimia: Bases y perspectivas desde el Centro de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura. Mapping, revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Mayo



2010. http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1686

Fernando Ceballos Zúñiga y Carmen Caballero Cáceres. *El Centro de Información Cartográfico y Territorial de Extremadura y el Consejo de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura. Mapping, revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Mayo 2010.* http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-gego.asp?id_articulo=1679.

Ramón Menéndez Pidal. *Toponimia prerrománica hispana.* (1952).

Enric Moreu-Rey. *Els nostres noms de lloc.* Moll (1982)

Commission de toponymie. *Guide toponimique du Québec.* QUEBEC (Gouvernement) 1987

Glosario de la terminología usada en la normalización de nombres geográficos. NACIONES UNIDAS. Glosario nº 330, 1987

NOMBRES DE FRONTERA: ESTUDIO TOPONÍMICO DE OLIVENZA Y TÁLIGA. Autor: Antonio María Castaño. Edita: Diputación Provincial de Badajoz. Enero de 2004.

Pies de página

¹ Mateos Martín, J.A.: *Toponimia: bases y perspectivas desde el Centro de Información Cartográfico y Territorial de Extremadura.* MAPPING, nº 141, mayo-junio 2010; p.43.

² -Castaño Fernández, A.M.: *Nombres de frontera. Estudio toponímico de Olivenza y Táliga.* Diputación de Badajoz, 2004.

-González Salgado, J.A.: *Tesoro léxico de la frontera hispano-portuguesa. Presentación del proyecto.* I Congreso de la SEEPLU (versión digital: <http://seeplu.galeon.com/textos1/gsal.html>)

-Barros Ferreira, M. (coord.): *Lengua e historia en la frontera norte-sur/Lingua e historia na fronteira norte-sul.* Campo Arqueológico de Mértola, 2010.

³ Decreto 211/2009, de 11 de septiembre, por el que se aprueba definitivamente el Plan Territorial del entorno del embalse de Alqueva (DOE nº 181, de 18 de septiembre de 2009).

⁴ Proyecto Toponimia de Galicia, promovido por la Comisión de Toponimia de la Consellería de Pre-

sidencia e Administración Pública y apoyado por la Dirección Xeral de Política Lingüística de la Consellería de Educación e Ordenación Universitaria DGOTU (Consejería de Fomento-Junta de Extremadura). Estudio y trabajo de campo de topónimos en el Tajo Internacional. FOTEX. 2010

⁵ Facilitadas desde el Centro de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura (CICTEX), de la DGOTU, el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) tiene por objeto la realización y actualización periódica de la cobertura de vuelo fotogramétrico, de ortofotografía digital en color, de todo el territorio nacional, realizando convenios con las Comunidades Autónomas para la cofinanciación del PNOA. Las ortofotografías utilizadas son del año 2009, con una resolución de 0.5 m.

⁶ Rodríguez Pascual, A.F., Martín-Asín López, G. y Astudillo Muñoz, B. et al *La Base Cartográfica Numérica 1:25.000* http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=782.

⁷ Página oficial del Ministerio de Fomento del Gobierno de España http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/CARTOGRAFIA/BBDD/BTN25/

⁸ Página oficial del Centro Cartográfico y Fotogramétrico del Ejército del Aire www.ejercitodelaire.mde.es

⁹ Gestión Tributaria y Catastral de la Diputación Provincial de Badajoz.

¹⁰ González Torrado, A. et al.: *Bases cartográficas de la Junta de Extremadura.* Mapping, nº 141, mayo-junio 2010; pp. 48-52.

¹¹ Sistema de Información Geográfico

¹² Página del Centro de Descargas del CNIG: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>

¹³ Página oficial de la Junta de Extremadura de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural <http://agroweb.juntaex.es/viaspecuarias/>

¹⁴ Entre los informantes destacaron algunos por su valiosa aportación, caso de: D. Miguel Ángel Vallecillo Teodoro, Catedrático de Historia, Director del Museo Etnográfico de Olivenza, presidente de una asociación de cazadores y autor de varios libros sobre la historia oliventina y su toponimia, D.

Luis Alfonso Limpo Píriz, Director de la Biblioteca de Olivenza, miembro académico de la Real Academia de Extremadura de las Artes y las Letras, autor de varias publicaciones, en particular la revisión de la Tesis Doctoral de D. Manuel Martínez Martínez: "El enclave de Olivenza, su historia y su habla", D. Pablo Bonilla Pinilla, ex alcalde de Tá-

liga, al cargo durante 16 años, D. José Montero González, Agente del Medio Natural de la Junta de Extremadura, D. Jesús Pérez Para, Alcalde de Alconchel y cronista de la Villa, D. Ramón Díaz Farías, Alcalde de Villanueva del Fresno.

¹⁵ Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.

NOTICIAS

Dassault Systèmes abre nuevos horizontes con 3D Experience

Dassault Systèmes, líder mundial en soluciones para la gestión del ciclo de vida de productos (PLM), diseño y maquetas digitales 3D, anuncia el lanzamiento de una nueva estrategia basada en la plataforma 3D Experience que cambiará la forma en la que los líderes industriales y los profesionales del marketing crean valor para sus clientes finales. La plataforma 3D Experience transforma el modo en el que "los innovadores trasladarán la innovación" a los consumidores, mediante la conexión de los diseñadores, ingenieros, responsables de marketing y clientes en una nueva "empresa social".

"Nuestra plataforma V6 ha evolucionado junto a nuestros clientes en los últimos años. La incorporación de tecnologías de búsqueda inteligente de información, las capacidades de innovación social y las experiencias virtuales realistas en 3D nos permiten ser pioneros de la nueva ola tecnológica: una plataforma 3D Experience para servir a la 'empresa social' del siglo XXI", declara Bernard Charlès, presidente y CEO de Dassault Systèmes. "Estoy convencido de que, a lo largo de este siglo, las personas inventarán e innovarán más que nunca antes. Debemos proporcionar a las empresas y a las personas experiencias integrales en 3D para imaginar innovaciones sostenibles, capaces de armonizar los productos, la na-

turalidad y la vida humana".

Las experiencias en 3D son un catalizador para la innovación, al permitir que cualquier persona dentro de la empresa participe en el proceso de innovación, contribuyendo a impulsar el valor para el cliente final.

"La forma en la que las empresas trabajan interna y externamente cambiará significativamente en las próximas décadas", señala Monica Menghini, nombrada recientemente vicepresidente ejecutiva de DS para Industria, Marketing y Comunicaciones Corporativas. "Por tanto, nuestro objetivo es proporcionar a nuestros clientes una potente plataforma, que utiliza el lenguaje universal del 3D y la web como interfaz de usuario, para lograr un incremento que cambie las reglas del juego en la generación de valor para el usuario final".

"Las aplicaciones de tienda virtual 3D, las aplicaciones logísticas visuales en 3D y los cuadros de mando empresariales, de uso sencillo y conectados en tiempo real, ya han cambiado la forma en la que las empresas operan. Con el lanzamiento de nuestra marca 3DSwYM y la compra de compañías de internet como Exalead y Netvibes (anunciada el pasado 9 de febrero) estamos reforzando las Aplicaciones Empresariales Sociales, que forman parte de nuestra plata-

forma 3D Experience", apunta Bernard Charlès.

"¿Están nuestros clientes en el negocio del PDM, el CAD o la gestión de procesos? No. Nuestros clientes están interesados en diseñar el vehículo más seguro, verde e inteligente, pero también en crear la experiencia deseada y valiosa para el cliente que se ajuste a cada necesidad del mercado", añade Monica Menghini. "Queremos ayudarles a pasar de los atributos del vehículo a la experiencia que aporta el vehículo. Estamos mirando el mundo a través de sus ojos. La plataforma 3D Experience les ayudará a crear experiencias de consumo ganadoras".

En la presentación de los resultados contables de la compañía para el cuarto trimestre y todo el año 2011, Bernard Charlès explicó cómo el excelente rendimiento financiero de Dassault Systèmes estuvo en gran parte relacionado con los logros de 3D Experiences. "Trabajar durante muchos años con compañías tan prestigiosas como Ford, Boeing, BMW, Guess, Honda, Airbus, Carrefour, Johnson & Johnson, P&G, Benetton y GE, por nombrar algunas, nos ha dejado claro que estábamos preparados para suministrar 'experiencias 3D industriales y sociales'. Es el momento de abrir nuevos horizontes", concluye Bernard Charlès.



EL PRIMER UAV CIVIL DE MERCADO CON TECNOLOGÍA MILITAR

- Capaz de volar a solo 43km/h, evitamos arreste de pixel.
- El sistema inercial más preciso del mercado, solo 0.01°.
- La mayor autonomía, 120 minutos, equivalente a 1000Ha.
- Precisiones homogéneas, volamos siguiendo el perfil del terreno.
- Aterrizamos con paracaídas, no golpeamos ni cámara, ni fuselaje.



Hidrología de trazadores en la gestión ambiental de yacimientos de petróleo Onshore

L.F. Molerio León

Consultor en Ingeniería Ambiental y Gestión de Recursos Hídricos de Cuba

Introducción

Las técnicas de trazadores permiten obtener información sobre un sistema o parte de él observando el comportamiento en ese medio de una sustancia específica, el trazador, que se añade al sistema o es parte de él. Son básicamente de dos tipos: ambientales (o naturales) y artificiales. Los trazadores ambientales son el resultado de procesos de producción natural o resultan de la actividad global social y económica del hombre. Estos trazadores se introducen en el medio también como consecuencia de procesos naturales. Los artificiales, por su parte no están disponibles en la naturaleza como parte de su producción biogeoquímica.

Un trazador ideal es aquella sustancia que se comporta en el sistema exactamente de igual modo que el material a trazar, al menos en lo que a la identificación de parámetros concierne pero que, por otro lado, posee una propiedad que lo distingue del material a trazar. En otros términos, ello significa que:

- No interaccione con el terreno (que no sea absorbido, ni sufra procesos de intercambio iónico).
- Que sea soluble en el agua (que no se precipite ni sea retenido por filtración mecánica).
- Que sea estable químicamente y biológicamente en el agua en la que se utiliza (no se oxide ni se reduzca, y que no se descomponga).
- Que pueda ser añadido al agua sin alterar las propiedades físicas y químicas del agua.
- Que no altere la permeabilidad y porosidad de las rocas que componen el acuífero.
- Que no contamine permanentemente el terreno, después de efectuado el ensayo.

- Que pueda ser detectado fácilmente.

Son condiciones importantes en el trazador ideal artificial:

- Que baste con utilizar pequeñas cantidades.
- Que sea de elevada solubilidad.
- Que se pueda detectar aún en condiciones muy bajas de concentración de forma cuantitativa.
- Que sea fácil de manejar.
- Que no sea tóxico ni molesto.
- Que sea barato y fácil de obtener.
- Que, de ser posible, no exista en el agua (o en todo caso, en pequeñas cantidades) y que el terreno no lo aporte naturalmente.

Los trazadores naturales y artificiales son de muy diverso tipo pero, básicamente se pueden agrupar en los siguientes grupos:

- Trazadores sólidos en suspensión.
- Trazadores químicos solubles electrólitos fuertes (salinos).
- Trazadores químicos colorantes.
- Trazadores radiactivos
- Trazadores isotópicos estables

Los trazadores sólidos en suspensión solo tienen alguna aplicación cuando el agua circula por grandes grietas como el caso de conductos cársticos muy desarrollados, ya que en presencia de sifones son retenidos. Los trazadores químicos solubles son aquellos que se disuelven en el agua permiten identificarlos fácilmente. En este grupo se encuentran los trazadores salinos. Los trazadores salinos son bastante solubles y, por lo general,

el más utilizado es el ión de cloruro, que por ello es un trazador casi ideal. Si el agua es originalmente poco salina, la concentración se puede medir por conductividad, ya que como conocemos, al disolverse la sal en el agua los aniones y los cationes se separan por acción de las moléculas polares del agua, comienzan a moverse libremente y la disolución comienza a ser conductora.

Para el empleo de los trazadores salinos es indispensable considerar los siguientes factores (Zojer, 1988):

- Baja salinidad de las aguas a trazar.
- Aplicación en grandes cantidades (NaCl y KCl)
- Suficiente cantidad de agua para la disolución y el transporte, por ello habrá restricciones en zonas con escasez de agua.
- Ambiente de concentración bajo, aunque fluctuante.
- Resistencia química.
- Fácil detección en el campo con mediciones de conductividad.
- Algunos ejemplos de trazadores salinos: NaCl, KCl, LiCl, Cloruro de Estroncio, Cloruro de Cesio, Cloruro de Cromo

El empleo de los trazadores salinos abarata los costos de cualquier experimento de este tipo. Se pueden detectar fácilmente con pocas muestras, para las zonas cársicas montañosas son ideales producto a la baja concentración de estos iones en los niveles base. El conocimiento directo en el campo permite efectuar cambios inmediatos en los intervalos de muestreo, lo cual permite también a que sea más barato el experimento, consumiendo en condiciones de campaña sólo el tiempo necesario, así como la agilización de los resultados finales.

Por lo general en los sistemas cársicos, cuando se miden distancias largas se requiere apreciables cantidades para lograr una buena concentración por debajo del punto de saturación, de acuerdo con las condiciones o niveles base. En este caso se encuentra el NaCl y el KCl, no obstante el Cloruro de Litio se puede emplear en pequeñas cantidades, pero es más caro, que los mencionados anteriormente. Tampoco son útiles en aguas con elevado contenido natural de cloruro.

Los trazadores químicos colorantes se emplean con mucha frecuencia en los sistemas cársicos. En

sentido general las aguas naturales no los contienen, por lo cual son fácilmente detectables en concentraciones muy bajas. Son poco recomendables en terrenos con un elevado contenido de arcilla, ya que su principal inconveniente es su estructura molecular, cuyo gran tamaño favorece la retención en el terreno, en especial por arcillas, coloides y materias orgánicas. Algunos de estos colorantes pueden ser alterados o destruidos por acciones tales como cambio en el PH y acciones de microorganismos del terreno.

Una de las sustancias más utilizadas es la fluoresceína ($C_{20}H_{12}O_5$) o un derivado sódico muy soluble, la uranina ($C_{20}H_{12}O_4Na_2$). En aguas ácidas se puede emplear el azul de anilina y azul de metileno. Existen otros como:

- Rhodamina B
- Sulforhodamina
- Iosina
- Amidorodamina
- Tipopal

El carbón activado retiene la fluoresceína, es por ello que se emplea para su detección, colocándose cápsula perforadas con carbón activo, durante el tiempo que dure el experimento en el lugar que se observa.

Los trazadores isotópicos son de dos tipos, estables y radioactivos. Los trazadores isotópicos estables, como el ^{18}O y el 2H son aquellos que no suponen una variación en la composición isotópica del agua o de alguna de las sustancias que tienen disuelta. Los radioactivos, como el 3H son muy importantes y presentan notables ventajas sobre los trazadores químicos, pero su manejo es más delicado y caro.

En la industria gasopetrolífera la aplicación de las técnicas de trazadores desborda los límites tradicionales de la exploración y producción (E&P). La gestión ambiental de yacimientos onshore encuentra en las técnicas de hidrología de trazadores una herramienta adecuada para identificar problemas ambientales, evaluar el alcance, distribución espacial y variación temporal de contaminaciones de petróleo de las aguas terrestres y marinas, del suelo y la vegetación y, en consecuencia, monitorear –con ciertos trazadores– la efectividad de las medidas para mitigar los efectos no deseados y la rehabilitación de las aguas y los terrenos contaminados (Soerens et al., 2004).

En esta contribución se describen algunos resultados obtenidos por el autor en la aplicación de técnicas de trazado utilizando Rodamina B, Tritio, Radón 222, microelementos como el, B, Br, Sr o macroconstituyentes conservativos como el Cl para la gestión ambiental de las aguas terrestres de los yacimientos de la Franja de Crudos Pesados del Occidente de Cuba (FCPOC) con los siguientes objetivos (Molerio y Rocamora, 2005):

- Identificación del origen de contaminaciones y alcance de responsabilidad de los operadores (huella isotópica y tiempo de residencia).
- Identificar la presencia-ausencia de LFNA en las aguas terrestres y marinas.
- Discriminación de efectos de salinización natural o inducida (por explotación o por derrames y descargas de aguas de capa tratadas o no).
- Formalización de evidencias indirectas de migración de H₂S en el subsuelo desde yacimientos gasopetrolíferos.
- Precisión de las direcciones de flujo subterráneo y del intercambio hidráulico entre las aguas superficiales y subterráneas.
- Identificación de estructuras tectónicas.
- Marcaje de emisiones de gases y líquidos desde ductos.
- Delimitación de perímetros de protección sanitaria de fuentes de abastecimiento de agua.

Origen de contaminaciones y alcance de responsabilidad de los operadores

Los yacimientos que han sido explorados y explotados de manera intermitente por diferentes operadores plantean al operador actual el problema del alcance de responsabilidad de cada uno de los precedentes respecto al estado de calidad del aire, las aguas y los suelos. Esto es particularmente importante en tanto la legislación ambiental de muchos países exige o requiere, según el caso, reparaciones por los daños causados al entorno por la actividad de exploración & producción. Pero en el caso, sobre todo, de actividades de E&P llevadas a cabo antes de 1970, en que la exigencia por el cuidado del medio ambiente era mucho menor y no constituía parte de la filosofía de estado de muchos países y, mucho menos, de las propias compañías petroleras, sucede que los operadores que vuelven a esos campos pueden encontrarse problemas ambientales no creados por ellos y a los que, de cualquier modo, deben dar so-

lución o responder por tales impactos, jurídicamente, ante las autoridades ambientales, gubernamentales y la sociedad civil en general.

Distinguir si la presencia de hidrocarburos (Líquidos de Fase No Acuosa –LFNA–, en general) en las aguas o los suelos son producto de la actividad de E&P actual o antigua o son manifestaciones naturales aisladas o si la salinidad de determinado horizonte acuífero es producida por derrames de aguas de capa, explotación de pozos auxiliares, derrames o filtraciones en ductos de agua salada o es debida al aprovechamiento intensivo no petrolero (actual o antiguo) de las aguas subterráneas es un tema ambiental a resolver que se plantea con cierta frecuencia (Fink y Worner, 1993; Seiler et al., 1980; Molerio et al., 1996; Soerens et al., 2004).

Ciertos trazadores (Soerens et al., 2004) son particularmente bondadosos en la solución de ciertos problemas de hidrogeología ambiental de yacimientos gasopetrolíferos en terrenos cársicos donde fuentes diferentes de contaminación de las aguas terrestres pueden provocar efectos semejantes que se prestan a confusión. En tal sentido, los trazadores isotópicos resultan de especial relevancia (Fig. 1).

Los isótopos estables, por sus propiedades de fraccionamiento, permiten caracterizar las condiciones hidrológicas y climatológicas en las que tuvo lugar la infiltración y la recarga de los acuíferos. La composición isotópica estable se modifica por los procesos meteóricos, por lo que las aguas de infiltración adquieren una huella isotópica característica del entorno en que se produjo la recarga. Los isótopos radioactivos, por su período de desintegración, permiten fechar el momento de tales infiltraciones. El decaimiento radioisotópico desde las fuentes de recarga hasta las de descarga es una medida del tiempo de circulación y, en consecuencia, de las condiciones de renovabilidad del agua.

Caso 1: Salinización de las aguas subterráneas

La salinización o mineralización de las aguas subterráneas dulces constituye la principal amenaza a la calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos litorales cubanos. Consiste en un aumento en la concentración de sales, básicamente de cloruro de sodio. Las causas naturales son, básicamente, las siguientes (Araguas y Gonfiantini, 1991; Cabra et al., 1992; Molerio, 1993; Molerio y Portuondo, 1997; Wallick y Tóth, 1976):

- La intrusión marina, que consiste en el avance, tierra adentro, de las aguas saladas marinas que,

mezcladas con las aguas terrestres dulces, incrementan su mineralización, tornándolas no aptas para consumo humano, el abastecimiento a ciertas industrias, el riego y la alimentación del ganado. La intrusión marina puede ser acelerada por causas artificiales, siendo la más común la sobreexplotación de las aguas subterráneas.

- La deposición de aerosoles marinos en la superficie del terreno, esencialmente sales de cloruro de sodio, que se infiltran hacia el subsuelo y contaminan el suelo y las aguas subterráneas, incrementando la mineralización total de los suelos y las aguas, provocando los mismos efectos nocivos.

- La gestión deficiente de aguas de elevada mineralización utilizada con fines de enfriamiento en sistemas de aires acondicionados, plantas termoeléctricas o instalaciones industriales semejantes o en sistemas de abastecimiento, básicamente recreativos o de salud, que emplean aguas de este tipo (piscinas, acuarios, instalaciones terapéuticas).

El límite entre las aguas dulces y saladas se fija, en correspondencia con la legislación cubana (Cuba, 1985, 1986, 1987) y la práctica común internacional, cuando las aguas alcanzan 1000 miligramos por litro de sólidos disueltos totales.

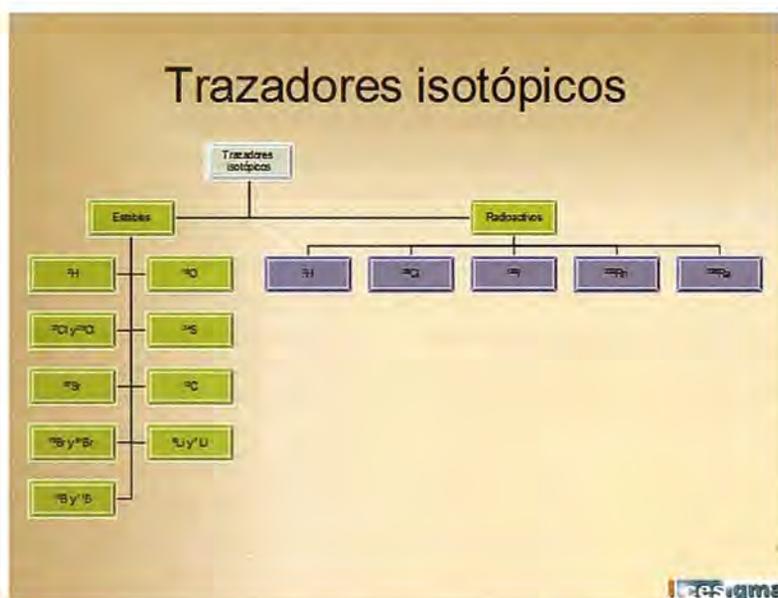


Fig. 1. Trazadores isotópicos (estables y radioactivos) aplicables en la gestión hidrogeológica ambiental de yacimientos gasopetrolíferos

Las causas artificiales del incremento en la mineralización de las aguas terrestres y, particularmente, las subterráneas son las siguientes:

- La sobreexplotación de acuíferos.
- La explotación de horizontes acuíferos profundos, asociados muchas veces a niveles de cavernamiento profundos, invadidos por agua salobre o salina.
- El mal manejo de suelos salinos.
- La inyección o vertimiento de aguas de capa de los yacimientos de petróleo en acuíferos someros o en pozos liquidados.
- La disposición, en superficie, de aguas de capa, producidas o salmueras de petróleo.
- El riego con aguas de elevada mineralización en zonas cársicas.

La mayor parte de los acuíferos litorales cubanos son cársicos; es decir, que están constituidos por calizas cavernosas, en las que el movimiento de las aguas subterráneas se caracteriza por la presencia de zonas de flujo rápido, bien organizado en sectores altamente transmisivos y zonas flujo difuso, más lento y menos organizado, en sectores básicamente capacitivos. Particularmente importante en estos acuíferos es el modo en que ocurre la recarga de las aguas subterráneas.

Así (Fig. 2) en ellos se reconoce una recarga rápida, concentrada, que tiene lugar a través de formas verticales, del tipo de simas, conectadas con las aguas subterráneas o que siguen cavernas horizontales o subhorizontales. El flujo superficial hacia estas formas ocurre por dos vías fundamentales:

una escorrentía superficial difusa y otra, concentrada, a lo largo de los cauces de las corrientes fluviales absorbidas por estas formas cársicas. Y una recarga lenta, difusa, que tiene lugar a través de los poros y grietas menos carsificadas. El flujo superficial hacia estas formas ocurre por dos vías fundamentales: la escorrentía superficial difusa y la infiltración directa sobre la superficie, desnuda o no, de las rocas carsificadas.

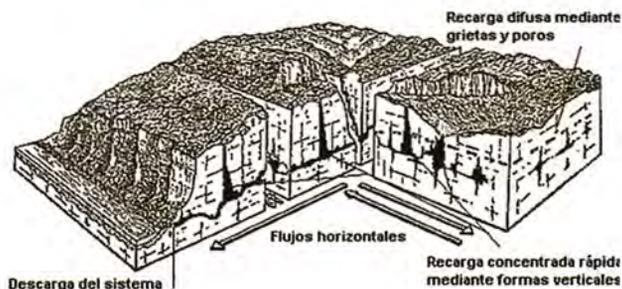


Fig. 2. Esquema general de un macizo cársico (ligeramente modificado de Mangin, 1975)

Para aclarar el origen de la salinidad de las aguas subterráneas en estas áreas problemáticas es necesario identificar, previamente, los valores de fondo (background) de los elementos indicadores, fundamentar el modelo conceptual, seleccionar las ecuaciones de gobierno, y resolverlas para diferentes condiciones iniciales y de contorno. Para ello son especialmente útiles los siguientes trazadores isotópicos: Cl, B, Br, Sr y ^3H .

Valores de fondo (background)

Molerio (1992^a) ha ofrecido algunos indicadores básicos para ello, a partir de un modelo conceptual de extremales, en que la composición físico química e isotópica de las aguas se adquiere a partir del recorrido de una función entre valores extremos o miembros terminales, en virtud de los patrones de control de la mezcla (tipo, origen e intensidad de la lluvia, composición litológica de las rocas y del suelo, tiempo de residencia de las aguas, origen de las aguas subterráneas, entre otros).

Especialmente importante en el tipo y distribución de la lluvia en Cuba (Trúsov, Izquierdo y Díaz, 1983). En este sentido, debe destacarse que la amplitud más variable de la temperatura media diaria en el interior de la isla de Cuba, donde se registran rasgos de continentalidad, es del orden de los 11-14°C; en las zonas costeras, de 8-10°C y en las montañas, con temperatura media de 16°C a 1500 m, el gradiente de temperatura es de 0,55°C/100 m.

La media normalizada de 42 años de la lluvia del país es de 1375 mm, distinguiéndose dos estaciones, la lluviosa, de mayo a octubre, en que –como promedio– se precipitan 1059 mm y la menos lluviosa, en que se registran unos 316 mm, y se extiende de noviembre a abril. La distribución de la lluvia en el país es bastante irregular. Ello se debe a: 1/ la diferente influencia de los procesos atmosféricos condicionados por el sistema general de circulación del aire; 2/ el relieve del país, que presenta grandes contrastes topográficos e influye sobre la formación e intensidad de las precipitaciones y 3/ el calentamiento irregular de la superficie de la tierra firme y de las aguas costeras.

En el invierno –período menos lluvioso–, sobre el Occidente y Centro del país se extienden, con frecuencia, masas de aire frío como consecuencia del desplazamiento hacia el Atlántico Central del Anticiclón de las Bermudas. Durante el verano, la influencia de las altas presiones del Atlántico Norte es menor; aquí es mayor el efecto de las bajas presiones ecuatoriales que causan intensos aguaceros y tormentas debido a las incursiones de aire

húmedo. A principios del verano son especialmente importantes las lluvias convectivas, cuyos máximos se alcanzan en mayo y junio.

Otra componente importante que explica la irregularidad de las precipitaciones, viene dada por los huracanes y ciclones tropicales. En las zonas montañosas y de alturas menores, las precipitaciones se redistribuyen de manera que los gradientes pluviométricos coinciden con los valores absolutos que se registran en las vertientes de barlovento. En las costas, bahías y valles fluviales las precipitaciones disminuyen. De este modo se reconocen cuatro tipos fundamentales de lluvia en el territorio cubano: convectivas, frontales, orográficas y huracanadas.

La intensidad máxima de los aguaceros está en relación inversa con su duración. Excluyendo las lluvias huracanadas, la intensidad máxima de las lluvias torrenciales es de 5 mm/1 min; aguaceros con intensidades de 3-4 mm/min tienen una duración de 5-10 min; de 2,4-3 mm/min, 20 minutos y, entre 1,32 y 1,85 mm/min, una hora. El número de días con lluvia (> 1 mm) aumenta de la costa hacia el interior, incluyendo las zonas montañosas y llega a alcanzar 160 días en el año.

Según Gutiérrez y Travieso (1974) la concentración de los macroconstituyentes determinados en el agua de lluvia del país es del tipo que se muestra en la Tabla 1. De acuerdo con estos valores se encuentran las relaciones iónicas básicas que se presentan en la Tabla 2.

El balance general muestra que se trata de aguas dulces, de muy baja mineralización. Como promedio, y en términos de mEq/l se trata de aguas del tipo Cl-HCO₃-Na-Ca; los valores mínimos de la serie analizada también muestran aguas del mismo tipo. Los valores mínimos y medios de la relación Cl/HCO₃ muestran el aporte de una fuente de cloruros en las aguas de lluvia. La presencia de aerosoles marinos fue destacada ya por los autores citados quienes además señalan una fuente suplementaria de aerosoles de tipo alcalino y aerosoles ácidos; obsérvense las relaciones HCO₃/(Ca-SO₄) de la Tabla 2. La serie de Gutiérrez y Travieso muestra claramente la influencia de determinados tipos de lluvia en la composición química. Molerio (1992) procesó 126 aguaceros del período 1986-1990 de la estación Colón para caracterizar la composición química por tipo de aguacero y conocer la distribución interanual e hiperanual de los macroconstituyentes principales y las relaciones iónicas básicas. La Tabla 3 presenta la estadística sumaria de los indicadores medidos.

Tabla 1. Macroconstituyentes determinados en las aguas de lluvia de Cuba en mg/l (según Gutiérrez y Travieso, 1974, modificado ligeramente)

Constituyente	n	Mín	Máx	Media	Rango	Semirango
pH	82	4,6	7,2	5,74	2,6	1,3
SPC(mS/cm)	91	9,2	50,0	26,6	40,8	20,4
HCO ₃	48	1,22	19,5	3,97	18,28	9,14
SO ₄	53	1,17	7,35	2,38	6,18	3,09
Cl	82	1,77	5,33	2,73	3,56	1,78
Ca	76	0,43	4,6	0,96	4,17	2,09
Mg	76	0,16	3,24	0,31	3,08	1,54
Na	92	0,7	5,75	1,72	5,05	2,53
K	53	0,07	0,24	0,12	0,17	0,09
SST	-	5,52	46,01	12,19	40,49	20,25

Tabla 2. Relaciones iónicas básicas según los datos de Gutiérrez y Travieso (1974)

Relaciones	Mg/Ca	Cl/HCO ₃	K/Na	HCO ₃ /(Ca-SO ₄)
Mínimo	0,5	2,5	0,07	5,02
Máximo	1,17	0,27	0,024	4,0
Medio	0,6	1,14	0,043	0,07

La estación Colón está situada de manera prácticamente equidistante de ambas costas y presenta, climatológicamente, rasgos de continentalidad. Las aguas, como promedio, son del tipo HCO₃ - SO₄-Ca-Mg; idéntica composición presentan los valores máximos. Los valores mínimos corresponden a aguas del tipo HCO₃ -Cl-Ca-Mg. El ión sulfato presenta el mayor coeficiente de variación de la serie, lo que sugiere la presencia de una fuente variable de acidez. Se asumió una reacción de neutralización completa con exceso de Ca sobre SO₄, toda vez que resultó el caso más común, aunque en algunos aguaceros SO₄ > Ca. Las relaciones Mg/Ca y Cl/ HCO₃ en las aguas de lluvia muestran, en todos los casos valores por debajo de la recta equivalente $rX/rY=1$, y sugieren que, como regla el aporte de aerosoles marinos es mínimo, predominando las fuentes de tipo alcalino.

Tabla 3. Constituyentes principales determinados en las aguas de lluvia de la estación Colón (en mEq/l)

Constituyente	Eventos de lluvia	Mínimo	Máximo	Media	Semirango	Coefficiente de variación
SPC (m/cm)	126	32	100	60,5	18,8	0,31
pH	126	5,5	8,15	7,05	0,76	0,11
HCO ₃	126	0,19	0,89	0,46	0,16	0,34
Cl	126	0,05	0,32	0,18	0,07	0,39
SO ₄	118	0,03	0,35	0,09	0,08	0,78
Ca	126	0,23	0,98	0,49	0,18	0,36
Mg	126	0,03	0,24	0,13	0,05	0,41
Na	119	0,01	0,19	0,07	0,04	0,56
K	114	0,01	0,05	0,03	0,01	0,34
Dureza total (mg/L)	126	15,0	55,0	30,95	9,47	0,31
SST (mg/L)	126	30,0	86,0	53,65	13,66	0,26

El análisis factorial ha mostrado la existencia de dos tipos fundamentales de aguas de lluvia, unas cloruradas y sulfatadas y otra bicarbonatada cálcica y magnésica. Las fuentes de Cl y SO₄ se

deben a la presencia de aerosoles marinos y ácidos, de un lado, y de aerosoles alcalinos, por otro. El estudio de las variables (Molerio, 1992a) confirmó el ión cloruro como variable principal de discriminación (0,89 de correlación interclase entre la variable y el eje discriminante) en el primer grupo; en el segundo, los iones Ca y Mg (0,82 y 0,73, respectivamente, de coeficiente de correlación).

En cada grupo de aguaceros estandarizados, la menor distancia se observa entre aguaceros consecutivos o próximos, con un lag hasta de 30 días. La semejanza entre los iones discriminantes es notable para aguaceros separados por lags de un día. Al incrementarse el tiempo entre cada evento de lluvia, el criterio de agrupación viene definido por una combinación entre los factores discriminantes caracterizados por una mayor distancia; es decir, con una menor similitud. En cuanto concierne a su efecto sobre la composición química de las aguas subterráneas, ello indica que el sistema acuífero recibe aguas de recarga neta -cuando ella se produce- de diferente composición, sobre todo,

en elementos traza como por ejemplo el cloruro que, en dependencia de la longitud de mezcla se refleja con mayor o menor fidelidad en la concentración de las aguas subterráneas en el punto de muestreo. Por ello, adoptar valores medios de la concentración de ciertos elementos en el agua de lluvia para estimar la recarga natural en el acuífero es un método válido, solamente, cuando pueda discriminarse adecuadamente el tipo de lluvia y la variabilidad temporoespacial del macroconstituyente que se tome

como referencia. La concentración del ión cloruro, en la muestra de ejemplo, varía en el año de 0,05 a 0,32 mEq/l, es decir, casi cinco veces ($xm = 0,18$; $--- = 0,067$; $CV = 0,38$). Para una lluvia media de

1300 mm, la recarga natural potencial puede variar hasta en un orden de magnitud.

En cuanto concierne a la composición isotópica estable, como regla, los valores de ^{18}O , 2H y d se encuentran más empobrecidos en verano que en ^{18}O invierno con independencia de la altitud y la distancia a la costa de las estaciones. En el mes de Julio se observa un enriquecimiento relativo en isótopos estables motivado por un descenso, también relativo, de la lámina de lluvia del período húmedo. Ello coincide, además, con un incremento en la temperatura media del aire (máximos absolutos del valor medio) que acelera los procesos de fraccionamiento isotópico. Con el descenso de la temperatura, la lámina de lluvia, y la evapotranspiración en invierno, se incrementa la concentración en isótopos pesados, alcanzando los valores máximos de ^{18}O entre Febrero y Marzo y los de deuterio en Enero, para el caso de estaciones situadas a mayor distancia de la costa y con rasgos de continentalidad en las precipitaciones pero, como regla, los máximos coinciden en Febrero y Marzo, al igual que para el ^{18}O .

Por lo que concierne a los efectos de fraccionamiento, el "efecto de cantidad" (Dansgaard, 1964; Eriksson, 1967, 1976, 1983), definido como la relación inversa entre la concentración en isótopos pesados y la lámina de lluvia mensual se manifiesta perfectamente en las estaciones cubanas. Molerio (1992) encontró que los valores del coeficiente de correlación son considerablemente elevados (-0,8 para el ^{18}O y -0,83 para el 2H) con una certidumbre del 95%. Incluso para la lámina de lluvia anual obtuvo una excelente correlación (-0,92) entre ella y la concentración media de ^{18}O .

Para los valores anuales, la tasa de empobrecimiento en ^{18}O es de -0,89 ‰/1000 mm. Para los valores mensuales es de -1,2 ‰/100 mm y de -10 ‰/100 mm, respectivamente, para el Oxígeno-18 y el Deuterio.

La relación entre la temperatura media del aire y la concentración en isótopos estables, para valores mensuales, resultó también aceptable: -0,7 para el ^{18}O y -0,78 para el 2H . Las rectas de ajuste mínimo cuadrático muestran pendientes de empobrecimiento respectivo de -0,28 y -2,49 ‰/°C de ^{18}O y 2H . Las correlaciones entre el exceso de deuterio respecto a la lluvia y la temperatura son mucho menos significativas, aunque más elevadas -como es de esperar- respecto a esta última.

La influencia de la cantidad de lluvia y de la variación de temperatura es mucho más acentuada si se separan de acuerdo con la estación del año. La diferencia en la concentración media y media

ponderada es notable. Para el ^{18}O es del orden de -1,4‰. más baja en el período húmedo que en el seco; lo mismo ocurre para el 2H , donde la diferencia es del orden de -11‰. Mucho más acentuada, como es de esperar, resulta la diferencia entre los valores de exceso de deuterio.

Al comparar los estadígrafos estacionales el comportamiento isotópico puede explicarse perfectamente. La lámina de lluvia media mensual en el período húmedo es 3,3 veces mayor que la de invierno (período seco o menos lluvioso). Asimismo, en los meses de verano, la temperatura media mensual es 4,5°C más alta que en invierno, provocando una evapotranspiración real casi el doble que la de invierno, con la salvedad de que, durante el período seco, el déficit de humedad es siempre negativo, oscilando alrededor de los -115 mm. Tales diferencias incrementan el enriquecimiento invernal en isótopos pesados de manera significativa.

Los valores obtenidos del coeficiente de correlación (-0,94 para la costa Sur y 0,51 para la distancia a la costa Norte) resultan indicadores indirectos de los rasgos de continentalidad y distancia a las fuentes de vapor de agua. Tomando como referencia la costa Sur del país, el ^{18}O se empobrece tierra adentro con un gradiente ponderado de -0,0667 ‰/km de distancia a la costa; el alto valor del coeficiente de correlación indica una fuerte dependencia de la concentración de ^{18}O respecto a la costa Sur; ello puede indicar la posición de la fuente principal de vapor a las lluvias producidas durante el período de muestreo. En tal sentido debe señalarse, también, que tal empobrecimiento hacia el interior del país, desde el Sur, es un indicador de alguna o ambas de estas posibilidades: a/ la tasa de empobrecimiento en isótopos pesados se incrementa según el vapor avanza hacia el interior del país, de manera que sucesivas reevaporaciones y recondensaciones reducen su concentración antes de ser finalmente precipitadas; b/ existe una fuente terrestre, de tipo continental, que provoca la presencia de vapores relativamente más empobrecidos en isótopos estables.

En cuanto concierne a la relación entre la concentración de ^{18}O y la distancia a la costa Norte, el signo del coeficiente de correlación se torna positivo y, aunque muy bajo, indica una componente de comportamiento inverso en la concentración isotópica. Las precipitaciones se enriquecen en ^{18}O según se avanza hacia el interior del país. Si este comportamiento es una regularidad, sugiere que, en determinados momentos, puede encontrarse una influencia de lluvias originadas en otra fuente de evaporación diferente del Mar Caribe, posiblemente asociado con lluvias frontales en invierno y al control del Anticiclón de las Bermudas.

Los valores ponderados de ^{18}O en verano para todas las estaciones del país muestran, con un alto coeficiente de correlación (-0,85), la fuerte dependencia entre la concentración del isótopo de referencia y la distancia a la costa Sur. El signo indica el decrecimiento de la concentración tierra adentro, con una pendiente de -0,128 %/km. La concentración media esperada, en la línea de la costa, de acuerdo con el intercepto calculado, es positiva, del orden del 1 ‰. ^{18}O , indicativa de la fuerte influencia de los aerosoles marinos. Del mismo modo, parece quedar claro que la fuente de vapor de las lluvias se debe encontrar en el Sur, en el Mar Caribe. En verano, por otro lado, no existe ninguna correlación significativa con la distancia a la costa Norte, lo que indica la independencia entre la composición isotópica (en ^{18}O) y cualquier fuente de vapor situada al Norte del país.

Sin embargo, en invierno, el cuadro es diferente. La mejor correlación (+0,6) fue encontrada con la distancia a la costa Norte de las estaciones. El signo positivo indica un proceso inverso en el cual se debe esperar un enriquecimiento invernal motivado por el predominio de lluvias frontales asociadas al avance de masas de aire frío desde el continente, al Norte. Por añadidura, no dejó de encontrarse una cierta correlación con la distancia a la costa Sur, en invierno (-0,45) que indica la presencia de otra fuente de vapor, en el Mar Caribe, que debe funcionar durante el período comprendido entre cada "frente frío".

El último estudiado fue el "efecto de altitud". Los valores ponderados de ^{18}O y ^2H a muestran un empobrecimiento en isótopos estables con la altura, del orden de -0,0074/m y -0,00192/m, respectivamente para el ^{18}O y el ^2H . Los coeficientes de correlación obtenidos fueron, también, significativos (-0,86 y -0,94 para el Deuterio y el Oxígeno-18)

Definir los miembros terminales de los isótopos estables resulta especialmente importante para establecer tanto la cinética del proceso del fraccionamiento, como los procesos de intercambio que ocurren en las distintas fases del ciclo hidrológico y en los diferentes escenarios donde tales fases tienen lugar. Por tal motivo, una aproximación al entorno de valores que caracterizan la composición isotópica del agua de mar, la evaporación, y la lluvia es imprescindible para caracterizar los procesos de transporte desde el océano en la atmósfera y en tierra firme.

En cada caso, es especialmente útil conocer, además, el mecanismo de fraccionamiento estacional y, en cada estación del año, entre aguaceros y evaporaciones sucesivas. Ello es necesario, toda

vez que en las islas tropicales la principal causa del deterioro de la calidad de las aguas subterráneas es la intrusión de las aguas de mar. Pero además, las pérdidas por evapotranspiración en acuíferos someros son realmente elevadas, aún cuando las cifras que se citan en la literatura pueden no ser muy exactas. En el trópico húmedo, por añadidura, la estación lluviosa es particularmente intensa y ello representa una renovación muy alta del agua atmosférica (Craig y Gordon, 1965; Ericsson, 1967, 1976, 1983; Gat y Gonfiantini, 19981; Clark y Fritz, 1997; Anati y Gat, 1988; Scout, 1967; Yurtsever y Gat, 1981; Weiss y Roether, 1980; Gonfiantini y Simonot, 1987; Ferronsky y Brezgunov, 1980; Gat y Tzuer, 1967; Clayton et al., 1966).

En cuanto concierne al agua oceánica, la fuente principal de vapor de agua para las precipitaciones es el agua del océano. De acuerdo con el grado de comunicación entre los mares y los océanos, la composición isotópica del agua de mar variará; esta variación también depende de la carga de agua dulce que, por escurrimiento (superficial y subterráneo) ingrese al océano.

Como se señaló antes, las fuentes de vapor de agua para las precipitaciones cubanas se localizan en dos zonas diferentes de acuerdo con la época del año: en verano, en el Mar Caribe por la influencia de las bajas presiones ecuatoriales; en invierno, la fuente más importante la constituye el Océano Atlántico, como resultado del movimiento del Anticiclón de las Bermudas. La influencia ecuatorial, sin embargo, no llega a anularse en invierno, y esto es un hecho que debe ser tenido en cuenta.

Por cuanto corresponde a la influencia del Mar Caribe como fuente de vapor de agua, su composición isotópica es determinante en la de la lluvia. La comunicación del Caribe con el Océano Atlántico es, en alguna medida, limitada. Los valores reportados por Araguas y Gonfiantini (1992) en la superficie del mar en Haití y Jamaica son, respectivamente, de 0,76 a 0,91 en ^{18}O y de 6,3 a 7 para el ^2H . Para los valores que se reportan en las aguas de lluvia en Cuba, tales concentraciones están fuertemente enriquecidas en isótopos estables. En el Atlántico, se reportan concentraciones, en superficie, de ^{18}O que oscilan entre -3,34 en Groenlandia hasta +1,32 en el Ecuador. La estación Weathership E, de la red IAEA-OMM reporta valores medios de -3,16 y -16,4% para el ^{18}O y ^2H , respectivamente, para la lluvia a la altura del nivel del mar en el Atlántico Norte. Para la misma latitud, Araguas y Gonfiantini (1992) reportan valores de +1,11 y +6 de ^{18}O y ^2H , respectivamente, en las aguas del océano. De esta manera, como base de estimación pueden tomarse los valores que se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición isotópica de las aguas de los mares que rodean a Cuba

Tabla 4. Composición isotópica de las aguas de los mares que rodean a Cuba

Zona	¹⁸ O _{máx}	² H _{máx}	¹⁸ O _{med}	² H _{med}
Caribe	+1,0	+7,0	+0,84	+6,7 ¹⁸ O
Atlántico	+1,32	+5,0	+0,86	+5,0

Por lo que respecta a las aguas evaporadas y condensadas, en Cuba no existen mediciones de la composición isotópica del vapor de agua, ni tampoco observaciones respecto a la temperatura en la base de la nube, o la concentración en isótopos estables de lluvias de diferente tipo genético o tomadas a intervalos durante un aguacero. En consecuencia, las apreciaciones de Molerio (1992) son meramente cualitativas y se derivan de la generalización de los datos disponibles en las muestras de agua de lluvia que ya se han discutido en párrafos anteriores. Como regla, las aguas de lluvia sufren sucesivas evaporaciones y condensaciones antes de ser finalmente precipitadas. De esta manera, los miembros terminales, en invierno y en verano pueden tomarse, en primera aproximación, como los máximos de enriquecimiento y empobrecimiento en isótopos estables. Por ellos, los valores máximos esperados son del orden de -5%. (18O) y -30%. (2H), según puede derivarse del comportamiento de la serie disponible, cuya media histórica no registra valores más altos, aunque sí muy próximos.

Las aguas netamente provenientes de evaporación presentarán, como es de suponer, una pendiente aún más baja que 7,3 correspondiente a la recta meteórica del país y que, a su vez, es inferior a la de la recta mundial, tomada como línea de equilibrio 2H - 18O. De acuerdo con la Tabla 5, la pendiente de la recta de evaporación es del orden de 4,57, en el rango reportado por Gat (1981), ligeramente más alta que la media mundial, lo que es fácilmente explicable tomando en cuenta las características de la alternancia rítmica y la intensidad de la pluviometría y evaporación en el país.

Tal pendiente corresponde a los valores de los meses de verano, donde la evaporación, como consecuencia de la elevada temperatura del aire, es más intensa. La pendiente de los valores de

invierno, con temperatura más baja, es del orden de los 7,25, prácticamente idéntica a la línea de equilibrio 2H- 18O de Cuba (7,296). En ambos casos, se superpone el efecto de la cantidad de lluvia, muy superior en verano que en invierno.

Los procesos de ultrafiltración se desplazan con una pendiente muy baja, entre 4 y 0, correspondiendo este último caso a los procesos de intercambio. Como pendiente más adecuada, Molerio (1992a) seleccionó 2% para el caso de la ultrafiltración.

La Recta Meteórica Nacional Cubana presenta pendiente e intercepto muy similares a los de la línea de mezcla con el Mar Caribe. Ello confirma:

1. el Caribe es la fuente más importante -aunque no la única- de suministro de vapor de agua para las precipitaciones cubanas;
2. los procesos que conducen a las sucesivas re-evaporaciones y recondensaciones del agua meteórica tienen lugar muy próximas al equilibrio 2H - 18O en el mar;
3. el empobrecimiento en isótopos pesados es notable, en las aguas de lluvia, sólo en los meses de verano, donde se conjuga la influencia de las altas temperaturas, elevada evapotranspiración y mayor cantidad de lluvia;
4. los valores de 18O y 2H cercanos a los valores límite en el gráfico, no resultan indicativos, "a priori", de los procesos que controlan el fraccionamiento y, en general, deben para ello, ser tomados por debajo de -4 y -20%. de 18O y 2H.

Tabla 5. Distribución promedio interanual de la composición isotópica de las aguas de lluvia de Cuba (n, número de eventos o casos), lámina de lluvia (LL), evapotranspiración real corregida (ETR), déficit de humedad (H) y temperatura media del aire (T), (xm, media aritmética; xw, media ponderada, DS, desviación estándar; CV, coeficiente de variación).

Mes	¹⁸ O	² H	d	LL	T	ETR	H
E	-2,0	-7,5	7,0	44	20,5	61,4	-17,4
F	-1,5	2,8	12,5	36	19,8	52,6	-16,6
M	-1,0	-3,2	5,6	45	21,6	77,5	-32,5
A	-1,7	-6,5	8,5	72	23,1	95,9	-23,9
M	-2,9	-15,5	8,75	182	24,9	128,4	+53,6
J	-4,25	-27,0	7,0	213	26,2	146,2	+66,8
J	-2,8	-17,5	6,5	137	26,8	160,4	-23,4
A	-2,9	-16,5	6,5	158	26,4	149,5	+ 8,5
S	-4,2	-18,0	9,4	181	26,3	135,9	+45,1
O	-3,7	-21,3	9,5	188	24,9	113,6	+74,4
N	-3,3	-16,0	11,0	79	23,0	83,9	- 4,9
D	-2,8	-14,2	10,5	40	20,6	61,6	-21,6
Total				1375	284,12	1329	-93

Tales condiciones de contorno deben ser tomadas en consideración al aplicarse las técnicas de hidrología isotópica para caracterizar procesos de mezcla de aguas, sobre todo, en el caso de la intrusión marina. Del mismo modo, al intentar caracterizar los procesos de recarga natural, o el resto de los "efectos de fraccionamiento", tales condiciones de borde pueden transformarse en limitaciones de cierta magnitud.

La presencia de aguas connatas en las pequeñas islas del Caribe es un fenómeno más común de lo que a primera vista pudiera parecer. En muchos casos, estas aguas están, en alguna medida, mezcladas con aguas más jóvenes de manera que la mezcla isotópica varía en un amplio espectro.

Aguas marinas atrapadas en los sedimentos de edad Eoceno y posteriores resultan de las diferentes fases transgresivas del Neógeno y en especial, del Cuaternario, en que el nivel del mar osciló glaciostáticamente en un rango estimado entre +190 y -250 m respecto al nivel actual.

El comportamiento de la curva de ajuste muestra una tendencia al enriquecimiento en 2H y 18O con el incremento de la concentración de cloruros, pero con una pendiente general muy baja. Los interceptos, muy próximos a los valores actuales, además de indicar las mezclas en los casos de baja mineralización se fijan en valores semejantes a los de aguas de reciente infiltración. La pendiente se hace más brusca, en ambos isótopos, a partir de los 5 g/l interceptando valores de 2H y 18O notablemente enriquecidos y superiores a los valores actuales del agua de mar. Los valores reportados hace tiempo por Clayton et al. (1966) para las salmueras de la cuenca de Illinois muestran también valores muy enriquecidos respecto a la composición de la lluvia actual si se comparan con la recta de equilibrio 2H - 18O de la estación Chicago, de la red IAEA-OMM, pero se ajustan más al intercambio que a un ajuste neto de evaporitas. En este caso, los valores bajos de isótopos estables fueron asumidos como característicos de la precipitación pleistocénica.

Los casos extremos que se presentan en la Fig. 18 introducen el problema de la composición isotópica de las precipitaciones en las áreas no glaciadas durante el Cuaternario y, en general, de los factores que condicionaron el balance hídrico durante el Pleistoceno. Por un lado, como propusieron en su momento Clayton y sus colaboradores, las aguas más enriquecidas en 18O y 2H, se consideran asociadas a las precipitaciones durante los períodos glaciales del Pleistoceno.

Por el momento, no existe otro modo de tratar la composición isotópica estable de las aguas subterráneas para definir la presencia de intrusión marina actual -no debida a las transgresiones o a las precipitaciones pleistocénicas- sin distinguir la relación entre los miembros terminales de la composición isotópica estable en las aguas de lluvia y en el océano.

Araguás y Gonfiantini (1991) han revisado detalladamente las condiciones de aplicación de las técnicas isotópicas en la evaluación de la intrusión marina. De hecho, la composición isotópica estable debe ser correlacionada con la concentración de los macroconstituyentes básicos toda vez que una y otra no presentan valores fijos, a no ser para los miembros terminales (agua oceánica y agua de lluvia) que puedan servir de referencia. El fenómeno de intrusión marina está vinculado no solamente con los patrones geoquímicos naturales de intercambio físico-químico que conducen, en los acuíferos costeros, a la adquisición de una composición química e isotópica determinada de las aguas subterráneas, sino a patrones artificiales, inducidos por el hombre, en el cual la explotación de los acuíferos es una de las causas fundamentales del desequilibrio entre ambos tipos de agua. En consecuencia, la presencia y el alcance de la intrusión marina suele definirse a partir de un conjunto de relaciones entre determinados macroconstituyentes en el punto de muestreo y, pocas veces, tomando en cuenta la evolución geoquímica del acuífero y la distribución de las zonas de flujo en éstos.

Los límites reportados por Molerio (1992a) definen cinco zonas:

- agua de mar;
- de mezcla agua dulce-agua de mar;
- aguas cársicas litorales;
- aguas cársicas no vinculadas con el mar y
- aguas de lluvia.

Las columnas de composición isotópica representan la escala de valores reportados para Cuba en tales zonas.

Ecuaciones de gobierno

Para los estables puede aplicarse el modelo conceptual de transporte y las ecuaciones de gobierno descritas por Köhn et al., (2006). Según estos autores, el modelo conceptual o la ecuación gobernante utilizada para representar el transporte de

solutos en sistemas hidrogeológicos es la ecuación de advección-convección. El parámetro de dispersividad, como medida de las propiedades dispersivas del sistema, ha sido tradicionalmente considerado una propiedad monovaluable de todo el medio pero en años recientes, varios estudios sugirieron que la dispersividad no es constante, y que depende de la distancia media o de la escala del sistema (Köhn et al., 2006).

La ecuación generalizada para describir el transporte de solutos en medios porosos saturados en dos dimensiones:

$$\phi \frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(D\nabla C) - q\nabla C = f$$

donde

- ϕ porosidad
- C concentración de contaminante
- D coeficiente de dispersión
- q velocidad de Darcy de flujo subterráneo
- f fuente de contaminación

Las componentes del tensor de dispersión hidrodinámica D incluyen el efecto de dispersión mecánica y difusión molecular. Para obtener el campo de flujo subterráneo se parte de la ley de Darcy generalizada:

$$q = -\frac{k}{\mu}(\nabla p + \rho g \nabla z)$$

donde k es la permeabilidad específica, μ es la viscosidad dinámica del fluido, g la gravedad y ρ la densidad del fluido.

La conductividad hidráulica K es una constante que depende del medio poroso y de las características y propiedades del fluido. Es igual a la permeabilidad específica k excepto un factor de escala. La relación entre k y K está dada por

$$K = \frac{k\rho g}{\mu}$$

El sistema que se resuelve para obtener el campo de flujo de aguas subterráneas bajo la hipótesis de incompresibilidad es el siguiente:

$$\nabla q = 0$$

donde q satisface la ley de Darcy.

Otra aproximación (Molerio, 2006a, 2006b) se basa en evaluar la distribución de la sustancia en cualquier punto x se representa por su valor promedio C. De manera general, la expresión más simple que describe el comportamiento de una sustancia conservativa, no sometida a reacciones químicas, es la siguiente:

$$(5) \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x}$$

En la que C, es la concentración; t, es el tiempo de arribo; v, la velocidad media de la corriente; x, el intervalo de distancia y D_i la dispersión longitudinal. Para las condiciones iniciales de input instantáneo de masa M en un punto x = 0, la solución de la ecuación es la siguiente:

$$(6) \quad C(x,t) = \frac{M}{A(4\pi D_i x/v)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(x-vt)^2}{4D_i t}\right]$$

Como la concentración en función del tiempo en un punto dado x, aguas abajo alcanza su valor máximo cuando x = vt; esto es, cuando el tiempo iguala el tiempo de arribo desde la fuente hasta el punto x, de manera que:

$$(7) \quad C(x,t) = \frac{M}{A(4\pi D_i x/v)^{1/2}}$$

Desde el punto de vista práctico, esta expresión permite la estimación de las concentraciones máximas a lo largo de la corriente.

Microelementos traza y Relaciones iónicas básicas

La relación iónica Cl/Br es un buen indicador del origen de la salinidad y ha sido resumida por Alcalá y Custodio (2004) del modo en que se refleja en la Tabla 6.

Morell (2004) ha estudiado detalladamente la aplicación del ión Boro para la discriminación del origen de diferentes tipos de agua, basadas en la propiedad de que el boro tiene cierto retardo hidrogeoquímico en medios de aguas subterráneas con alto contenido arcilloso pero en acuíferos de alta transmisividad, como los cársicos, puede ser considerado como un trazador conservativo.

Tabla 6. Indicadores de origen de la salinidad a partir de la relación Cl/Br (elaborado a partir de los datos de Alcalá y Custodio, 2004)

A. Estadígrafos de los isótopos (valores anuales)

	n	xm	xw	DS	CV
¹⁸ O	120	-3,2	-2,75	0,996	-0,36
² H	120	-17,099	-13,36	7,94	-0,59
d	120	8,56	8,29	2,02	0,24

B. Estadígrafos de los valores estacionales. Período seco o menos lluvioso (noviembre-abril)

Estadígrafo	¹⁸ O	² H	d	LL	T	ETR	H
n	120	120	120	120	120	120	120
Xm	-2,05	-7,43	9,18	52,7	21,4	72,2	-19,5
Xw	-2,16	-8,46	9,21				
DS	0,78	6,38	2,38	16,5	1,26	14,97	8,35
CV	-0,38	-0,86	0,26	0,31	0,06	0,21	-0,43
Total				316	128,6	433	-117

C. Período húmedo (mayo a octubre)

Estadígrafo	¹⁸ O	² H	d	LL	T	ETR	H
n	120	120	120	120	120	120	120
Xm	-3,46	-19,3	7,94	176,5	25,9	139	37,5
Xw	-3,52	-19,68	7,95				
DS	0,62	3,8	1,31	23,9	0,74	15,2	34,3
CV	-0,18	-0,2	0,16	0,14	0,029	0,11	0,92
Total				1059	155,5	834	225

El Boro en aguas subterráneas se encuentra normalmente a muy bajas concentraciones, como ion minoritario o como elemento traza; sin embargo, aportes naturales ligados al agua de mar, a salmueras, ciertos fluidos geotermiales o a ambientes evaporíticos puede elevar apreciablemente su concentración hasta superar la concentración media del agua de mar.

La presencia de boro en las aguas subterráneas depende de su salinidad y del contenido de boro en las rocas asociadas. La adsorción de boro y retención por las arcillas está afectada por muchos factores: salinidad de las aguas, tipo de arcilla y cristalinidad, pH, temperatura, fuerza iónica de la solución y composición, ciclos de humedad y sequedad de la arcilla y presencia de sustancias orgánicas. El comportamiento del boro está también, en parte, controlado por el magnesio, de forma que si el magnesio está presente -en solución o en la superficie de los minerales arcillosos- la retención del boro es mucho mayor.

En acuíferos cársicos litorales cubanos, bajo las presiones de disposición de aguas de capa, uso intensivo de las aguas subterráneas dulces, de mezcla y saladas y desplazamiento tierra adentro de la intrusión marina, las relaciones que se presentan en la Fig. 3 han resultado útiles. El Boro, por otro lado, interviene en el control de la composición química

de las aguas en la Franja de Crudos Pesados de Cuba Occidental de manera nada despreciable. En efecto, el Análisis Factorial en Modo R de varios centenares de muestras de agua subterránea con distinto tipo de mezcla con aguas marinas muestra las cargas resumidas en la Tabla 7.

Los resultados se derivaron de la aplicación del método de extracción de Componentes Principales, con rotación Varimax Normalizada a una matriz observacional compuesta por 243 muestras de agua a la que se determinaron 23 elementos químicos (HCO₃, SO₄, Cl, Ca, Mg, Na, K, Al, As, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sr, Zn). Cuatro factores permitieron explicar el 78% de la varianza total (Tabla 8). Obsérvese que en la muestra examinada el control básico sobre la composición química de las aguas lo ejerce la intrusión marina en tanto controla las mezclas entre las aguas terrestres de diferente origen y las marinas. Un resultado semejante fue obtenido por Molerio et al. (2002) en el sector de Varadero-Cárdenas, en la porción más oriental de la FCPOC. (Ver figura 3)

En efecto, el primer factor, que explica el 31% de la varianza total de la serie espacial, está controlado por el Cl y el Na, elementos que conforman la composición básica de las aguas marinas. El segundo factor, está dominado significativamente por el Ca y el Mg y, en parte, por el HCO₃, que repre-

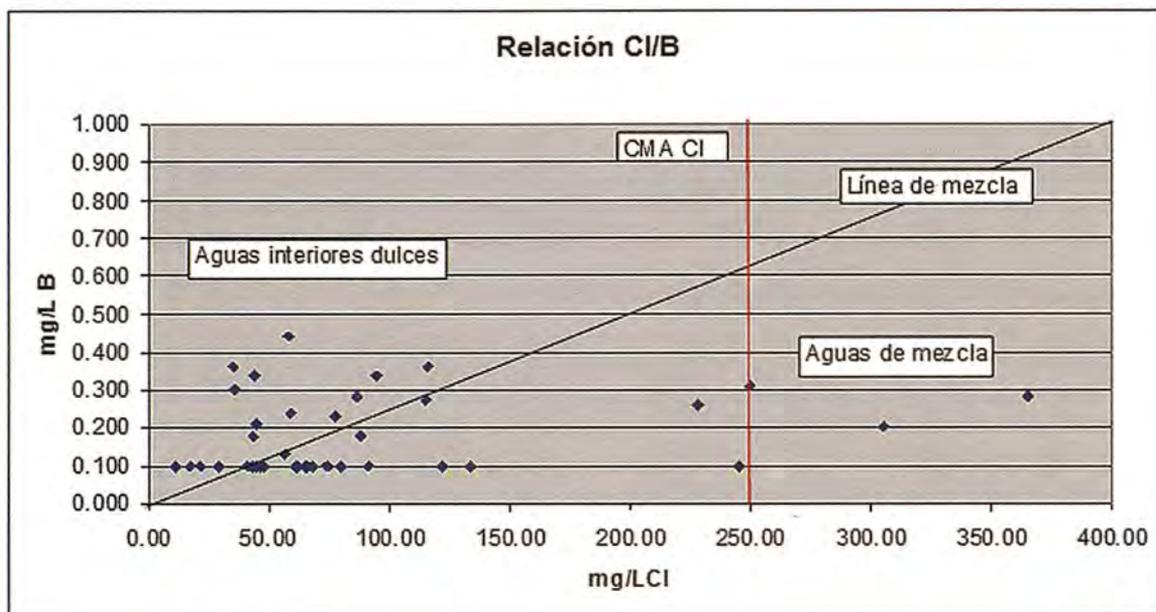


Fig. 3. Relaciones Cl – B en aguas subterráneas cársicas de la Franja de Crudos Pesados de Cuba Occidental (CMA, Concentración Máxima Aceptable de Cloruros en las aguas potables según las normativas cubanas).

Tabla 7. Cargas factoriales

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
HCO ₃	0.0812228	0.64083405	0.3145389	0.01581011
SO ₄	0.11379998	-0.07142029	-0.01860642	0.96727641
CL	0.92975573	0.13525986	0.05825714	-0.04355492
CA	0.00826452	0.88877902	-0.07673824	0.08888551
MG	0.15634995	0.77517119	0.04995581	-0.25045451
NA	0.92712069	0.0804384	0.12619923	0.21104534
K	-0.06637586	0.19183305	0.87230985	0.08170511
B	0.39038685	-0.05065667	0.71990003	-0.14942399

Tabla 8. Valores propios de la matriz observacional estandarizada

	Valor propio	% de la Varianza total	Valor propio acumulado	% Acumulado
1	2.49798791	31.2248489	2.49798791	31.2248489
2	1.63948781	20.4935976	4.13747572	51.7184465
3	1.17097272	14.6371591	5.30844845	66.3556056
4	0.9752462	12.1905774	6.28369464	78.546183

sentan la composición del acuífero carbonatado dominante en toda la región y que constituye el sistema de flujo de las aguas subterráneas evaluadas. Estos dos factores explican, entre ambos, poco más de la mitad de la varianza total de la serie.

De no table importancia es que el B y el K aparezcan en el tercer factor, puesto que puede indicar tanto el aporte complementario de algunos humedales próximos, incluso de aguas más antiguas o con limitada circulación o tal vez, por algún aporte de los materiales arcillosos que pueden rellenar algunas cavernas o que constituyan la base de los humedales próximos. En cualquier caso, es un indicador a ser tomado en consideración. La compo-

nente de aporte de los humedales próximos y del aporte del agua de mar queda aclarada en el cuarto factor, dominado exclusivamente por el SO₄.

El Sr es un excelente indicador del origen marino de ciertas aguas (Ahn et al., 1992). En un caso de derrame de aguas marinas se encontró una correlación casi perfecta (0,999) entre el B y el Sr (Fig. 4) en las mezclas de agua subterránea. Pero, en general, por razón de los diferentes factores de control, la correlación es muy alta, altamente significativa (0,987) y en ambos casos para una certidumbre del 95%. En este caso (Fig. 5) es importante tener en cuenta el eventual aporte de estroncianita en caso que se trate de aguas sub-



X
TOPCART
2012

CONGRESO
IBEROAMERICANO
DE GEOMATICA
Y CIENCIAS DE LA TIERRA

Madrid, del 16 al 19 de octubre 2012. Pabellón de la Pipa



www.top-cart.es

terráneas muy jóvenes o que circulen por terrenos geológicamente muy jóvenes.

Caso 2: Discriminación de impactos históricos en la calidad de las aguas subterráneas. (Fechado y Tiempo de residencia de las aguas)

Hace medio siglo que Kaufmann y Libby identificaron el tremendo potencial que ofrecía el Tritio cosmogénico para el fechado de las aguas (Kaufmann y Libby, 1954). Toda vez que el Tritio geogénico es prácticamente despreciable, aquel que se mide en las aguas subterráneas virtualmente significa, siempre, recarga moderna. Esta es la base conceptual para el cálculo del tiempo medio de residencia de las aguas subterráneas en los acuíferos.

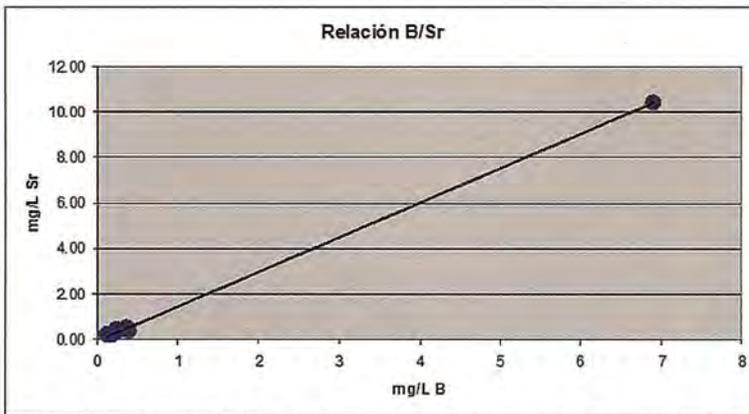


Fig. 4. Relación B/Sr en las aguas subterráneas mezcladas con aguas marinas

Existe consenso en afirmar que cuando estos niveles son altos ($\frac{24}{12}$ 30 UT) está implicada una fuente asociada a las explosiones termonucleares en la atmósfera, lo que indica recarga durante la década de 1960. Aquellas aguas que contienen Tritio próximo al límite de detección ($\frac{1}{28}$ 1 UT) son submodernas o se trata de paleoaguas que se han mezclado con aguas someras modernas cerca de la zona de descarga o en el tránsito hacia éstas.

Existen cinco métodos –cualitativos y cuantitativos– para aproximarse al fechado de las aguas subterráneas con Tritio, a saber:

- Velocidad del pico de 1963, que identifica el pico termonuclear preservado en las aguas subterráneas e identifica claramente su edad.

- Decaimiento radioactivo, que permite calcular, para un grupo de valores medidos, el tiempo de desintegración a partir de un nivel de entrada (input) conocido.

- Modelo de la función de entrada, que determina la recarga atenuada de los niveles de tritio para un sistema de flujo dado de aguas subterráneas aplicando la ecuación de decaimiento radioactivo.

- Análisis de la serie temporal, que parte del muestreo sistemático en puntos específicos de los valores de entrada y salida durante un tiempo lo suficientemente largo para permitir identificar el tiempo de tránsito.

- Interpretación cualitativa, donde el Tritio mensurable se considera equivalente de la recarga moderna.

Sobre todo en sistemas acuíferos poco activos, el pico de las pruebas termonucleares de 1963 es un marcador importante que puede haberse preservado en éstos. Sin embargo, en sistemas de flujo moderado o rápido, este horizonte guía puede haberse desplazado ya o presentarse atenuado por dispersión y mezcla.

La precipitación (fallout) de Tritio de 1963, por otra parte, se ha preservado donde el flujo advectivo es mínimo, como en el caso de acuíferos de gran espesor de zona no saturada o de recarga muy difusa, como la que puede ocurrir a través de horizontes semiconfinados o semilibres (Molerio, 1992b, 1992c, 2006a, 2006b; Morder et al., 1986). Al producirse un movimiento descendente muy lento, las nuevas aguas que ingresan al acuífero por infiltración desplazan las anteriores, lo que da como resultado una inversión, en las aguas subterráneas, del pico de Tritio en la precipitación. No obstante, parece que en la mayor parte de la zona no saturada de los acuíferos el pico de 1963 se movió hace tiempo. Fenómenos como la dispersión hidrodinámica y la mezcla de aguas bajo el nivel de la superficie piezométrica provocan una atenuación de la función de entrada de Tritio.

lo que da como resultado una inversión, en las aguas subterráneas, del pico de Tritio en la precipitación. No obstante, parece que en la mayor parte de la zona no saturada de los acuíferos el pico de 1963 se movió hace tiempo. Fenómenos como la dispersión hidrodinámica y la mezcla de aguas bajo el nivel de la superficie piezométrica provocan una atenuación de la función de entrada de Tritio.



Fig. 5. Relación B/Sr en las aguas subterráneas de los sistemas regionales de flujo evaluados

Es evidente que disponer de un horizonte guía tan nítido resulta una innegable ventaja en tanto proporciona información sumamente efectiva para estimar las velocidades de flujo y los tiempos medios de circulación de las aguas subterráneas.

Este método se basa en presuponer que se conoce la entrada (input) de Tritio en el sistema y que el Tritio residual medido en muestras discretas de las aguas subterráneas es resultado, exclusivamente, de la desintegración radioactiva en correspondencia con la expresión siguiente:

$$(8) a_t \text{ } ^3\text{H} = a_0 \text{ } ^3\text{He}^{-\lambda t}$$

donde el primer término del miembro de la derecha representa la actividad inicial de Tritio (expresada en UT) y el miembro de la izquierda de la actividad medida en una muestra luego de un tiempo t .

El término de desintegración λ equivale a:

$$(9) \lambda = \frac{\ln 2}{t_{0,5}}$$

en la que $t_{0,5}$ es el tiempo medio de vida del Tritio (12,43 años), por lo que esta ecuación puede escribirse como:

$$(10) t = -17,93 \ln \frac{a_t \text{ } ^3\text{H}}{a_0 \text{ } ^3\text{H}}$$

El resultado más importante que puede derivarse de esto es que el rango útil para fechado con Tritio es menor de 50 años cuando las determinaciones se realizan por el método de enriquecimiento (cuyo límite de detección es de aproximadamente 0,8 UT). Tritio anterior a las explosiones termonucleares puede medirse si se aplican las técnicas de medición de bajo nivel (como la síntesis de propano o el enriquecimiento con ^3He (Clark y Fritz, 1997).

Como señalan Clark y Fritz (1997), raramente se encuentran aguas subterráneas en las que no haya ocurrido una mezcla tal que permita un fechado efectivo por este método. Por lo común, sería el caso de aguas que se infiltran muy rápidamente, como puede ocurrir en algunos karsts tro-

picales (Molerio, 1992a, 1993, 1994; Molerio et al, 1993, 1994, 2000, 2002a, 2002b). Para hacer más efectivas las mediciones de Tritio se requieren análisis cada vez más precisos, sobre todo en los últimos años, donde la actividad de Tritio se acerca a los niveles anteriores a las explosiones termonucleares. La aplicación de este modelo, entonces, es mucho más limitada en el fechado de aguas muy jóvenes.

Una de las más importantes limitaciones en la aplicación de este método es la fuerte dependencia estacional que suele presentar el input de Tritio, lo que limita mucho poder fijar el Tritio inicial al momento de la recarga. Más que un valor único, existe consenso en aceptar que el input de Tritio es una función plurianual promedio.

En un sistema regional de flujo, las aguas subterráneas adquieren su composición física, química, bacteriológica e isotópica como consecuencia de un proceso compuesto en el que interviene la infiltración de diferentes años de precipitación y por la interacción agua-roca en el flujo horizontal. Ambas componentes son las que han contribuido a la alimentación del acuífero mediante mezcla a través de la zona no saturada y por el que ocurre a lo largo de las líneas de drenaje subterráneo. Así la zona de fluctuación del nivel de las aguas subterráneas es una zona activa de intercambio en la que se mezcla aguas provenientes de diferentes eventos naturales e inducidos artificialmente. Por eso, cuando tales aguas se mueven hacia zonas más profundas o bajo capas confinantes en las que tal intercambio se reduce o se anula y, por ende, no recibe aportes adicionales de Tritio, la actividad de éste decrece debida, exclusivamente a desintegración radioactiva. En este momento, la concentración de Tritio en un sector dado del dominio de flujo será una función del tiempo de residencia en la zona de recarga.

Existen dos formas de determinar la función plurianual de entrada de Tritio, a saber:

- La contribución ponderada de ^3H en cada año.
- La aplicación de una corrección para el decaimiento de la contribución de cada año debida al almacenamiento en la zona de recarga.

En consecuencia, la extrapolación de un valor medido en una muestra de agua subterránea en una fecha dada hasta el valor más apropiado de la curva de recarga (input) permite un estimado del tiempo de tránsito que media desde la zona de recarga hasta el punto de muestreo. Con esta aproximación, mucha de la precisión con la que se estima el tiempo de tránsito depende del conoci-

miento de las características de la zona de recarga del sistema acuífero. Aquellos sistemas de flujo con potentes zonas no saturadas y grandes extensiones de flujo no confinado suelen mostrar mezclas de aguas entre 5 y 10 años o más antes que un dominio de flujo dado se cierre a los estímulos más recientes. En el otro extremo, aquellos sistemas de flujo en los que las áreas de recarga tienen limitada extensión y permiten concentrar el flujo de infiltración exhiben poca mezcla en la zona de alimentación y, por ello, períodos de recarga de cinco o menos años.

El muestreo secuencial de Tritio en las aguas subterráneas puede ser usado para identificar el pico termonuclear y ofrecer un buen indicador del tiempo medio de residencia de las aguas. Como señalan Clark y Fritz (1997) usando una función suavizada de ingreso de ^3H , la relación entre dos muestras del mismo piezómetro o estación de observación (corregidas para la desintegración radioactiva) indicarían la localización relativa del pico de 1963. Esto puede expresarse como la relación entre el nivel de Tritio en el muestreo temprano, corregidas las pérdidas debidas a la desintegración radioactiva entre los momentos de muestreo, con el nivel del muestreo final, de manera que,

$$(11) \quad \frac{{}^3H_{\text{temprano}} e^{-\lambda t}}{{}^3H_{\text{final}}}$$

Donde t , es el tiempo, en años, entre ambos muestreos y λ es la constante de desintegración radioactiva que, para el Tritio, equivale a 0,00576. En este caso, una relación superior a 1 sugeriría que el pico ha pasado ya el punto de observación, mientras que si la relación es inferior a 1, el punto de observación está midiendo la cola del pico.

En ciertos casos puede resultar conveniente o necesario reconstruir las series temporales de Tritio. El Organismo Internacional de Energía Atómica ha provisto de un instructivo para ello (Celle-Jeanton, Gourcy y Aggarwal, 2000) que describe los métodos de Weiss y Roether (1980) y de Doney et

al, (1992). En ciertos casos constituye una buena primera aproximación, sobre todo cuando los modelos matemáticos no son concluyentes, bien porque la data es irregular o incompleta o inconsistente o bien porque se conoce poco el funcionamiento del acuífero. Esta aproximación establece los siguientes intervalos para la clasificación de la recarga a las aguas subterráneas (Clark y Fritz, 1997)

Las concentraciones de ^3H en la atmósfera y, en consecuencia, en las aguas de precipitaciones son, en la actualidad muchísimo más bajas que las registradas durante el pico de las explosiones termonucleares. Estas concentraciones continúan decreciendo, mucho más en las latitudes bajas que en las altas y provocarán que el método resulte poco útil en los próximos años, a diferencia de lo que ha ocurrido en las últimas cuatro décadas.

Las concentraciones se aproximan ahora a las que debieron ser las normales en la atmósfera antes de 1960, de manera que se requieren mejores precisiones en las determinaciones y, paralelamente, incorporar la aplicación de otras herramientas basadas, esencialmente, en los mismos principios, como es el método de Tritio-Helio 3 que presenta la ventaja de que las edades "verdaderas" de las aguas no tienen que depender de las complicaciones de la función de entrada de ^3H . De hecho, en Cuba, en la última década, las concentraciones de ^3H en las aguas de lluvia han descendido desde máximos de 10 UT en 1989 (Molerio, 1992, 2002a; Molerio et al, 1993) hasta menos de 3.

El tiempo de residencia de las aguas (que se emplea como sinónimo de tiempo de tránsito, edad de las aguas, edad cinemática, edad hidráulica, entre otros) se define como la relación entre el volumen de agua móvil (V_m) y la tasa volumétrica de flujo (Q) en el sistema, es decir:

$$(12) \quad t_w = \frac{V_m}{Q}$$

Denominación	Rango en años
• Submoderna	• Anterior a 1952
• Mezcla entre la recarga submoderna y la reciente o moderna	• Entre 1952 y los últimos 5.a 10 años
• Moderna o reciente	• Entre los últimos 5.a 10 años
• Pico termonuclear	• Dominante de 1960
• Recarga residual del pico termonuclear	• Componente entre 1960 y 1970

Para flujo vertical en la zona de recarga, especialmente en la zona no saturada, Q equivale a la tasa de infiltración o recarga; es decir:

$$Q = \frac{d}{dt} \left[\int_0^x (s) dx \right] = \frac{d}{dt} \left[\int_0^x (s) dx \right] + \frac{d}{dt} \left[\int_0^x (s) dx \right]$$

Si el sistema puede aproximarse por un patrón de flujo unidimensional, esta definición lleva a la relación (Maloszewski y Zuber, 2004):

$$(14) \quad A^{NAPL} = KA$$

en la que x, es la longitud para la cual se determina t_w , y v_w es la velocidad media del agua, que equivale a la relación entre la velocidad de flujo (v_f) y la porosidad efectiva (n_e). Como el Tritio es un trazador, conviene entonces introducir el concepto de "edad media del trazador" (t_t), que puede definirse como:

$$(15) \quad R = \frac{A_s^{s-0}}{A_s^{s0}} = 1 + S * K$$

en la que C_i es la concentración de trazador observada en el sitio de medición, como resultado de una inyección instantánea a la entrada del sistema.

Ahora, lo importante es tener claro que la edad media del trazador es igual a la edad media de las aguas solamente si no existen zonas inmóviles, estáticas (stagnant zones) en el acuífero y el trazador es inyectado y medido en el flujo. Con los términos inyección y medición en el flujo se quiere significar que tanto a la entrada del sistema, como a la salida, la cantidad de trazador es proporcional al flujo volumétrico a lo largo de una particular línea de flujo. Obviamente, Esta condición se satisface en sistemas naturales donde el trazador ingresa en el sistema con el agua de infiltración y se mide en la zona de descarga. Cuando las mediciones se realizan a cierta profundidad en pozos, es necesario prever que esta condición quizás se satisfaga para la línea de flujo muestreada, pero no para todo el sistema.

Un caso particular –y nada despreciable– lo constituye el efecto que provocan las zonas estáticas, por lo común asociadas a las rocas fracturadas –

incluidas las cársicas–, por lo que la "edad de las aguas de un sistema inmóvil" se define como en intervalo de tiempo en que el sistema se separó de la atmósfera. En estos casos, cuando la edad radioisotópica de un radioisótopo atmosférico no tiene otras fuentes o sumideros que la desintegración radioactiva, puede identificarse con la edad del agua (Maloszewski, 1992; Maloszewski et al., 1983, 2004). Así, la edad radioisotópica (t_a) se define exclusivamente por la desintegración radioactiva:

$$(16) \quad Wd = 1,478 \left(\sqrt{\frac{DQ}{V}} \right)$$

donde $C(t_a)$ y $C(0)$ son las concentraciones actuales e iniciales, respectivamente, del radioisótopo y, λ , como fue definido antes, la constante de desintegración. Lamentablemente, como señalan Maloszewski y Zuber (2004) pocos trazadores radioisotópicos están disponibles para el fechado de aguas subterráneas móviles e inmóviles. Obviamente, como señalan estos autores las edades de los sistemas inmóviles o de sistemas que pueden ser parcialmente inmóviles por ciertos períodos de tiempo no pueden ser interpretados, directamente, en términos de los parámetros hidráulicos.

Los acuíferos cársicos, en general, no presentan condiciones muy favorables a la aplicación de este método debido a que la estructura del campo de flujo en términos de la posición de las zonas de recarga, drenaje y descarga de los sistemas locales e intermedios de flujo que participan en la integración de un sistema regional dado (véase la Fig. 2).

Como cada asociación entre formas de absorción-conducción-descarga es un sistema local de flujo per se que, a su vez es parte de uno mayor, las velocidades de tránsito son sumamente variadas y la mezcla depende de la organización del escurrimiento interno y del estado evolutivo de esa parte de sistema. Y como la propia evolución hidrológica de los terrenos cársicos excluye o incluye formas y sistemas de flujo que pueden haber sido desactivados del funcionamiento hidrológico de la región, dentro del mismo dominio de flujo pueden encontrarse zonas de recarga difusa, lenta, como zonas de recarga concentrada, rápida.

Estos dos extremos ocurren en todas las regiones cársicas. Las zonas de recarga concentrada, rápida, asociadas a la infiltración de las aguas de lluvia a través de formas absorbentes como los ho-

nores, dolinas, simas o valles de diferente tipo, presentan incluso, grandes contrastes a los efectos del retardo y la acumulación. Zonas de drenaje vertical como simas conectadas con el nivel de las aguas subterráneas excluyen cualquier retardo en la zona no saturada ya que, de hecho, en esos lugares ésta no existe.

La presencia de ríos que penetran en el subsuelo a través de cavernas en la zona no saturada se comportan de manera diferente según se trate de movimiento a través del epikarst, de flujo hipodérmico o de convergencia con el acuífero (Fig. 6). La recarga a través de dolinas y sumideros, por ejemplo, puede ser tanto concentrada como difusa, dependiendo del grado evolutivo de éstas; es decir, del grado de actividad hidrológica de las mismas y -sobre todo- de la conexión hidráulica con otras formas cársticas. Las vastas zonas cubiertas de suelo, pavimentas, o simplemente por estratos menos permeables o por grietas rellenas son elementos de retardo de flujo que enmascaran la contribución de la zona de recarga en un punto dado del sistema acuífero.

A veces es posible lograr una buena aproximación para sustentar la cercanía a las zonas de recarga o de descarga según la solución muestreada se presente insaturada, saturada o sobresaturada respecto a los minerales más importantes del complejo -usualmente carbonatado- que constituye el karst. Para aquellas zonas de recarga rápida, concentrada, directa, usualmente las aguas representan insaturadas respecto a la calcita y la dolomita. Pero la mezcla de aguas con diferente grado de saturación siempre provoca instauración de la solución por lo que estas determinaciones tienen que ser acompañadas de una fuerte evidencia de campo que las sustente y, por supuesto, de controles "in situ" de pH, temperatura, conductividad eléctrica de las aguas y presión parcial de CO₂.



La divergencia del flujo subterráneo es una de las características más importantes del carso. Ello significa que las relaciones hidráulicas entre las zonas de recarga, conducción y descarga no son obvias. Salvo que esté fehacientemente demostrado por ensayos rigurosos de trazadores o por exploración espeleológica directa no puede presumirse que cierto punto de descarga está asociado a un cierto grupo de formas de absorción o una determinada zona de recarga.

El limitado valor de uso que, para ciertos -y no pocos- sistemas acuíferos cársticos presentan las curvas equipotenciales, particularmente para el caso de sistemas locales de flujo, es una fuerte limitante para la interpretación de la composición isotópica de las aguas y, en especial, para la estimación del tiempo medio de tránsito de las aguas. Entre los factores que influyen en ello está la presencia de diferentes niveles de cavernamiento superpuestos que son responsables de la divergencia local del flujo.

En muchas ocasiones, ello hace que ciertas relaciones de conexión hidráulica funcionen no sean permanentes y funcionen solamente bajo determinados estímulos hidráulicos. No es poco común el caso de conexiones entre diferentes aparatos cársticos (sistemas locales de flujo) que funcionan solamente en épocas de lluvias torrenciales. Tampoco es común el caso de formas de absorción y descarga, prácticamente contiguas que están totalmente desvinculadas entre sí.

La mezcla de aguas terrestres de diferente origen, como ocurre en algunas regiones con espeleogénesis hipogénica o la mezcla de aguas continentales y marinas en los acuíferos cársticos litorales introduce una componente de incertidumbre grande que, sin embargo, es totalmente independiente de la posición de las zonas de recarga y, en muchos casos la presencia de ciertos indicadores traza e incluso del propio ³H depende de la profundidad y hasta la hora del muestreo. Esto es particularmente cierto en el caso de acuíferos cársticos litorales en los que la presencia de conductos alternativamente absorbentes-emisivos varía el dominio de una componente sobre la otra, como en el caso de la marea alta donde penetra el mar a través de cuevas litorales o submarinas y de la marea baja, donde se descarga agua continental mezclada con la la marina que penetró en el intervalo anterior. En acuíferos interiores, donde hay presencia de estavelas el fenómeno es semejante, ya que se trata de formas alternativamente absorbentes-emisivas.

Por otro lado, la mezcla de aguas siempre produce instauración respecto a la calcita, dolomita o yeso y, por ello, también enmascara el uso de este recurso para identificar las zonas de recarga del resto.

Por el lo la organización del flujo subterráneo en los sistemas cársicos –que no puede separarse en lo absoluto de la organización del escurrimiento superficial en ellos- es otro factor a tener en cuenta. Bajo determinadas condiciones, impresionantes redes de cavernas pueden extender el dominio de flujo subterráneo con total independencia de las divisorias superficiales. La presencia de flujo lateral y divisorias subterráneas móviles, dependientes de la recarga en un momento dado, no es un caso extraño, sobre todo si se trata de sistemas de flujo predominantemente horizontal, libre, y difuso en que la distribución regional de potenciales hace dominar un flujo lento semejante al de un medio poroso (Herrman et al., 1990; Benischke et al., 1988; Maloszewski y Zuber, 1990; Seiler et al., 1989)

Es precisamente la alternancia entre zonas capacitivas y transmisivas lo que provoca que también se encuentren zonas con muy diferente tiempo de tránsito de las aguas subterráneas. Efectivamente, tal y como ocurre en la zona no saturada, donde alternan zonas de flujo concentrado rápido, con otras de flujo retardado, más lento, en el subsuelo si la circulación se realiza a lo largo de grandes redes de cavernas, en las que el régimen de flujo es siempre no lineal de alta velocidad, los estímulos de recarga y, con ellos, la composición de las aguas se transmiten rápidamente a puntos muy alejados de las zonas de recarga: estas son las llamadas zonas transmisivas. Entre tanto, zonas en las que dominan los poros de la matriz o grietas pequeñas, retardarían el flujo horizontal, incrementarían la retención y por ello, el decaimiento de radioactivo y la atenuación natural, en suma, serán efectos dominantes sobre la velocidad con la que se mueven las aguas y, con ello, incrementarán notablemente el efecto de acumulación.

Es importantísimo destacar que, en correspondencia con el desarrollo tridimensional del cavernamiento local y regional, estas zonas se distribuyen no solamente a lo largo del campo de flujo horizontal sino también en toda la columna vertical o espesor del acuífero, diferenciando el campo de las isocronas, es decir, de las isolíneas de tiempo de tránsito en todo el campo tridimensional de flujo.

El efecto combinado de ambas tiene notables consecuencias para la estrategia de aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos porque, obviamente, es tal efecto el que ha contro-

lado la distribución de los recursos en el sistema acuífero. La explotación de zonas de recarga retardada o desvinculadas en todo o en parte del ciclo hidrológico actual es causante del agotamiento de los recursos por sobreexplotación. El desvío de líneas de flujo contiguas hacia estas zonas provoca cambios en el sistema de flujo con efectos laterales tan variados como la presencia de grandes conos de depresión, subsidencia inducida o desplazamiento de las zonas de recarga, todas de negativa influencia. Medidas de remediación como las de recarga inducida (recarga artificial) para la reposición artificial de las reservas de agua subterránea son a veces inútiles al construirse, precisamente, sobre estas zonas (Fig. 7).



Fig. 7. Distribución de períodos de recarga en un sistema acuífero cársico donde se nota la misma dolina en dos estaciones: seca (foto superior) e inundada como consecuencia de lluvias torrenciales (foto inferior)

La Fig. 8 muestra el ajuste de un modelo exponencial de tiempo de residencia de las aguas subterráneas en una estación de control de la FCPOC que muestra un excelente ajuste para tiempos de tránsito entre 20 y 40 años. Este resultado permite discriminar la antecedencia de ciertos efectos de contaminación de las aguas asociados a recargas antiguas en la zona de alimentación del acuífero. Ello significa, por un lado, que las eventuales recargas recientes aún no llegan al acuífero y con ella, tampoco la contaminación que, eventualmente pueden producir los trabajos actuales de E

& P. Pero de lo que no hay duda, y estos resultados lo corroboran, que una mezcla de aguas recargadas en los últimos 40 años se está moviendo actualmente en el acuífero. Una movilidad más baja con una atenuación natural y auto depuración más lenta provoca que ciertos contaminantes persistentes lleguen eventualmente a partes sensibles del acuífero o de interés para su explotación.

Es evidente que la importancia de este hecho para identificar el alcance de responsabilidad de los operadores actuales respecto al estado de calidad de las aguas terrestres y los suelos en la región de interés es notable. Discriminando adecuadamente las componentes de diferentes tiempos de residencia en las mezclas de aguas que llegan a diferentes sectores del acuífero con su correspondiente calidad, permite a los gestores ambientales disponer de un recurso para separar las contribuciones históricas de los diferentes actores que han intervenido en el sitio.

Modelo exponencial CSA-5

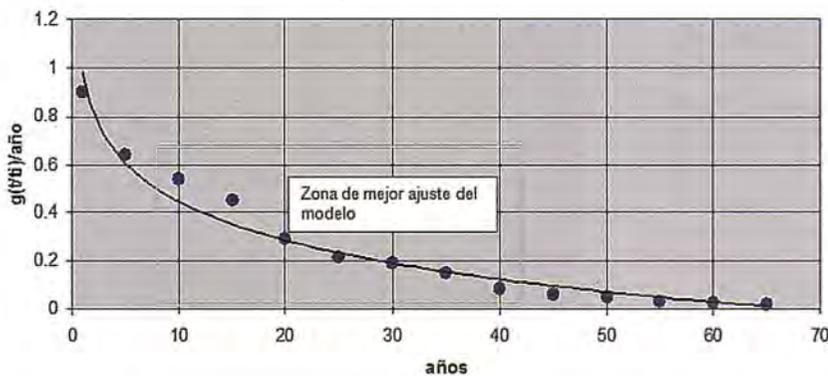


Fig. 8. Modelo exponencial para un sector del acuífero regional de la FCPOC

Presencia-Ausencia de LFNA en las aguas terrestres

La detección y la aclaración inequívoca de la distribución de la contaminación en las aguas subterráneas por cualquier tipo de LFNA (Líquidos de Fase No Acuosa) y su cuantificación, ya sean ligeros (los llamados LLFNA, alcoholes, gasolina o nafta) o densos (DLFNA, como fuels, petróleo y aceites) puede lograrse exitosamente aprovechando las propiedades de partición agua-hidrocarburos de isótopos radioactivos ambientales como el Radón (^{222}Rn). En los últimos años, al mejorarse las técnicas de detección y cuantificación (Surbeck 1996; Burnett et al, 1998) este radionucleido se ha usado con frecuencia por su extraordinaria capacidad para resaltar la contaminación por diferentes tipos de hidrocarburos en las aguas subterráneas (Hunkeler et al, 1997; Hunke-

ler, Höhener y Seller, 1997; Werner y Hohener, 2002a, 2002b; Molerio, 2003, 2004, 2006).

El isótopo radioactivo ^{222}Rn , con un tiempo medio de vida de 3,8 días es uno de los productos de la desintegración radioactiva natural del Uranio 238. La desintegración α del Radio 226 (^{226}Ra) produce ^{222}Rn que se desintegra en productos de muy corta vida. Al tratarse de un gas noble, el ^{222}Rn es químicamente inerte. Sin embargo, el ^{222}Rn particiona en líquidos orgánicos y, desde superficies de minerales que contienen ^{226}Ra , como en la mayor parte de los acuíferos, el ^{222}Rn emana hacia las fases gaseosa o líquida contiguas por retroceso o difusión.

Por esa razón, las aguas superficiales casi no contienen ^{222}Rn , ya que se evapora e incorpora a la atmósfera; pero las aguas subterráneas lo adquieren ya que la concentración de actividad del ^{222}Rn desde la zona de recarga a la zona saturada, se incrementa hasta alcanzar un estado de equilibrio entre la emisión y la desintegración radioactiva. El tiempo para que ese régimen permanente se establezca es de unas 5 vidas medias. Tales propiedades hacen que el ^{222}Rn esté presente en actividad constante en la mayor parte de los acuíferos y que se transporte, sin el menor retardo, en aguas que no estén contaminadas por LFNA. Por ello, tienen un valor inestimable en la determinación de contaminaciones de este tipo.

La fundamentación teórica del modelo hidrológico isotópico parte de los siguientes principios básicos:

- La distribución promedio del ^{226}Ra , el radionúclido padre del ^{222}Rn , en la fase sólida es homogénea a escala macroscópica.
- La porosidad del material acuífero es constante en la zona de flujo ensayada.
- Las pérdidas de ^{222}Rn desde la zona saturada del acuífero a la zona no saturada, son despreciables.
- La partición del ^{222}Rn entre el LFNA y la fase acuosa está en equilibrio.
- El coeficiente de partición es independiente de la saturación de LFNA.

- La fase LFNA está inmóvil – o lo que es lo mismo, se mueve más lentamente que el agua subterránea.

- La porción de 222Rn en la matriz sólida puede despreciarse.

Ello significa que cuando el agua subterránea que contiene 222Rn es estado de equilibrio de emisión-desintegración migra hacia una zona contaminada por LFNA se produce un decrecimiento en la actividad del 222Rn debido a la partición del 222Rn entre el agua y el LFNA. Cuando las aguas subterráneas abandonan la zona contaminada, la actividad del 222Rn en la fase agua debe retornar al valor inicial del equilibrio (Fig. 9).

La ecuación general de transporte es análoga a la de van Genuchten y Alves, de manera que:

$$(13) \quad \frac{\partial}{\partial t} [(1-S)\theta A + \theta A^{NAPL}] = -\frac{\partial}{\partial x} \left[qA - (1-S)\theta D \frac{\partial A}{\partial x} \right] + (1-\theta)\rho P \lambda - [(1-S)\theta A + \theta A^{NAPL}] \lambda$$

donde t, es el tiempo; x, es la distancia de flujo; S es la saturación de NAPL en el volumen poroso; θ , es la porosidad; A, es la actividad de 222Rn en la fase agua en la locación x y en el momento t; ANAPL es la actividad de 222Rn en la fase NAPL en la locación x y en el momento t; q, es la descarga específica de las aguas subterráneas; D, es el coeficiente de dispersión del 222Rn en las aguas subterráneas; ρ , es la densidad del material acuífero; P, es la tasa de emisión de 222Rn desde la superficie mineral por masa de material acuífero seco, y λ es la constante de desintegración radioactiva del 222Rn.

La partición del 222Rn se describe mediante:

$$(14) \quad A^{NAPL} = KA$$

donde K es el coeficiente de partición del 222Rn. Después de algunas transformaciones se llega a que la relación entre la emisión y la desintegración de la actividad del 222Rn en la zona no contaminada de las unidades hidrogeológicas (S=0) respecto a aquella contaminada (S ≠ 0) es el Factor de Retardo (R), que se expresa como:

$$(15) \quad R = \frac{A_{\epsilon}^{S=0}}{A_{\epsilon}^{S \neq 0}} = 1 + S * K$$

donde S, es la saturación de NAPLs, K es el coeficiente de partición del NAPL en agua para el 222Rn.

Ello significa que cuando el agua subterránea que contiene 222Rn es estado de equilibrio de emisión-desintegración migra hacia una zona contaminada por NAPLs se produce un decrecimiento en la actividad del 222Rn debido a la partición del 222Rn entre el agua y el NAPL. Cuando las aguas subterráneas abandonan la zona contaminada, la actividad del 222Rn en la fase agua debe retornar al valor inicial del equilibrio.

El modelo teórico adoptado para cuantificar la migración del 222Rn y su eficacia en la cuantificación de la contaminación por NAPLs es válido por cuanto se cumplen todos los requisitos que se derivan de la ecuación de transporte de Van Genuchten y Alves, a saber:

- Se conoce el coeficiente K.
- Se conoce Ae.

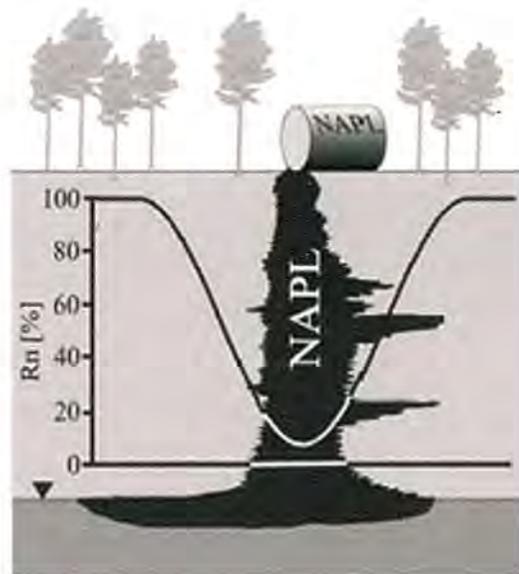


Fig. 9. Esquema de partición del 222Rn en presencia de LFNA

Las Figs. 10 y 11 muestran el registro de 222Rn LFNA en dos estaciones de monitoreo de las aguas subterráneas en la FCPOC.

Marcaje de emisiones líquidas desde Ductos

Las líneas de conducción de petróleo, agua y gas son susceptibles de presentar descargas incontroladas por accidente, envejecimiento y oxidación o fatiga, falta de mantenimiento o por hechos vandálicos. No siempre tales fugas son detectadas a tiempo y, en no pocas ocasiones, sobre todo en el

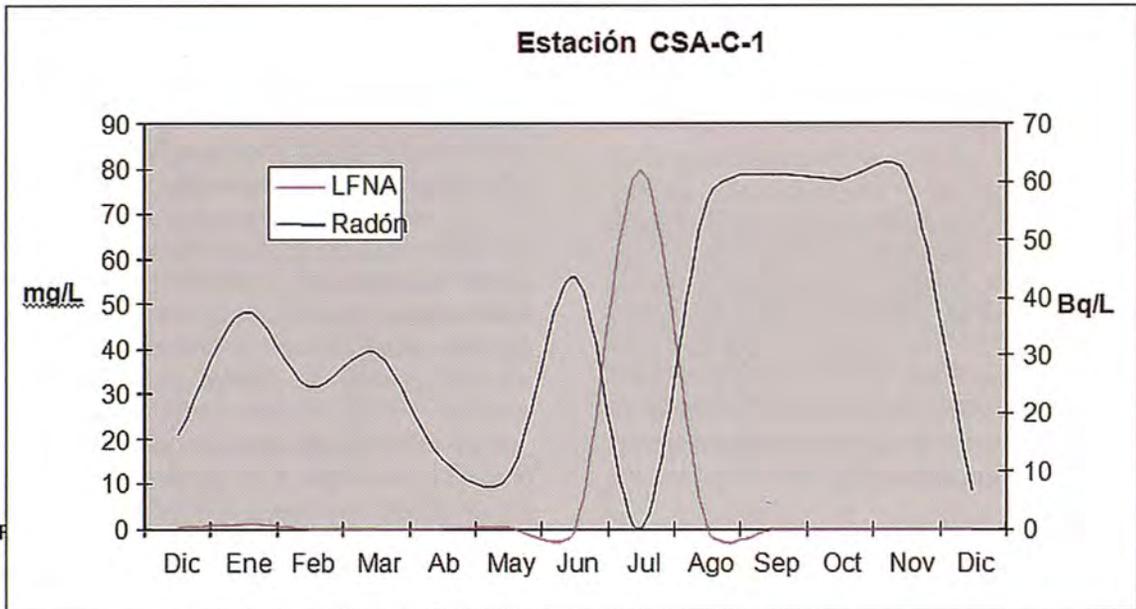


Fig. 10. Variación de la actividad de ^{222}Rn en las aguas subterráneas del Pozo CSA-C-1

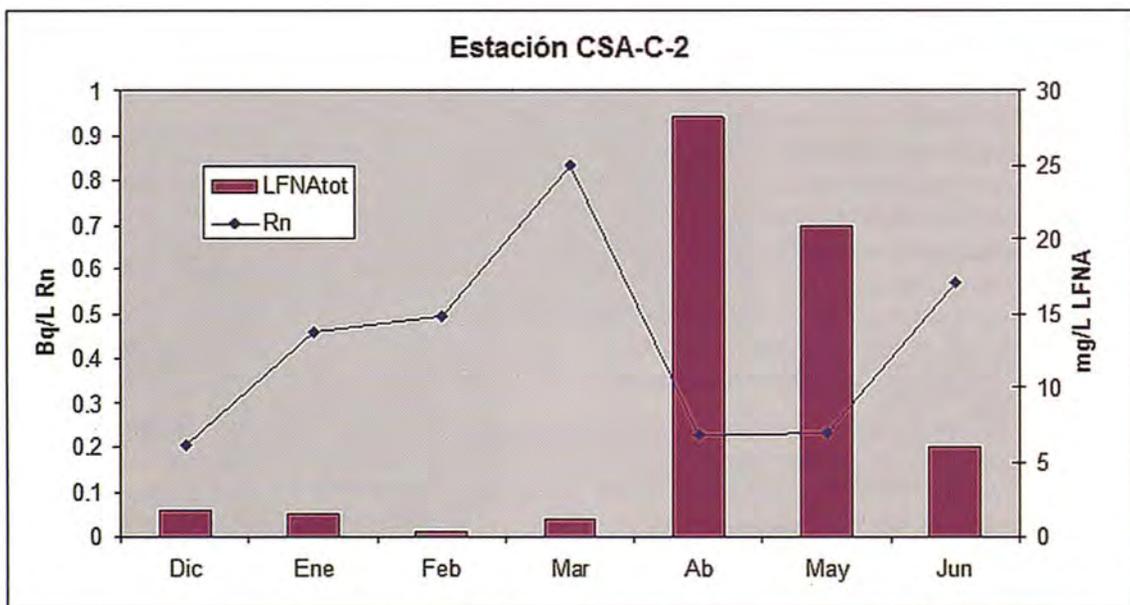


Fig. 11. Variación de la actividad de ^{222}Rn en las aguas subterráneas del Pozo CSA-C-2

caso de ductos soterrados, la zona no saturada y el acuífero pueden contaminarse durante mucho tiempo antes que estas sean detectadas. Es más, normalmente cuando las pérdidas están por debajo de los límites de detección o la sensibilidad de los equipos que monitorean los caudales y flujos en tiempo real, las contaminaciones se descubren cuando ya se han propagado lo suficiente como para afectar grandes volúmenes del sistema acuífero.

Para determinar estas fugas líquidas con precisión son útiles tanto los trazadores isotópicos radioactivos de corta vida (horas o pocos días), como el ^{129}I como los fluorescentes. En muchos casos,

es conveniente utilizarlos de manera combinada, sobre todo, cuando la contaminación ha afectado la zona no saturada del acuífero. En el caso de pérdidas o fugas de gases, el ^{222}Rn nuevamente es útil.

Los ensayos con trazadores (tintas) fluorescentes son muy apreciados por los decisores y, bajo ciertas condiciones no dejan de ser atractivos, sobre todo, cuando el trazador es visible a simple vista en los puntos de salida (Fig. 12). Muchas veces solamente se emplean para análisis cualitativos, es decir solamente para identificar las conexiones entre uno o más puntos de entrada (absorción) o descarga (salida) pero estos ensayos

no brindan información cuantitativa del sistema y no son, precisamente, más baratos que los cuantitativos. Siempre que sea posible deben preferirse éstos, ya que brindan información sobre los siguientes aspectos (Antigüedad, Ibarra y Morales, 1989-1990; Molerio, 2004):

- Tránsito de un contaminante e indicadores sobre:

- o Tiempo de tránsito y velocidad de las partículas más rápidas

- o Tiempo de tránsito y velocidad de las partículas más lentas

- o Duración de la restitución

- o Tiempo y velocidad modal de tránsito

- o Concentración máxima y media del trazador

- Condiciones hidrodinámicas durante el ensayo de trazado e indicaciones sobre:

- o Volúmenes drenados antes y durante la restitución, que pueden ser descompuestos eventualmente en flujos de base y de crecida. Estos valores son especialmente importantes para la identificación de los caudales de compensación (ambientales o ecológicos) de los ríos y surgencias.

- Modalidades del tránsito del agua y simulación del tránsito de un contaminante, atendiendo a los siguientes parámetros:

- o Tiempo medio de tránsito

- o Velocidad media de tránsito

- o Velocidad aparente de tránsito



Fig. 12. Salida de un trazador colorante en un punto de descarga.

En los ensayos con trazadores fluorescentes ciertos aspectos básicos no pueden ser soslayados:

- Las expectativas del ensayo.

- El modelo conceptual del sistema de flujo a trazar.

- Modelo de inyección (instantánea o continua, individual o múltiple)

- La distancia estimada a trazar.

- Los caudales que intervienen.

- Las fuentes de pérdidas y aportes de trazador (por adsorción, reducción, degradación, decaimiento fotoquímico, acomplejamiento, precipitación, dilución no esperada, fluorescencia natural).

- El sistema y la frecuencia del monitoreo.

- Las propiedades espectrales y los límites de detección del trazador.

- La identificación –conocida o estimada– de los puntos de paso o de salida del trazador.

- El financiamiento y el tiempo disponible para el ensayo.

En las redes cársticas no ocurre como en las redes de ductos industriales, ya que estos últimos tienen una distribución conocida y se manejan perfectamente los caudales, las fuentes de pérdidas y aportes en cualquier momento del ensayo.

Las redes naturales, sobre todo aquellas que no han sido exploradas aportan una incertidumbre en cuanto a la distancia estimada a trazar, las fuentes de aportes o pérdida del trazador, los puntos de paso, que solamente –y no siempre– puede esperar reducirse en alguna medida con un buen diseño del experimento (Fig. 13).

Esto es tan importante que, muchas veces, la baja –o nula– recuperación del trazador no significa, forzosamente, que la conexión esperada entre dos o más puntos no exista. Incluso no debe olvidarse que, en sistemas naturales, dependiendo de las condiciones iniciales y de borde del sistema, los mismos trazados son positivos unas veces y otras no.

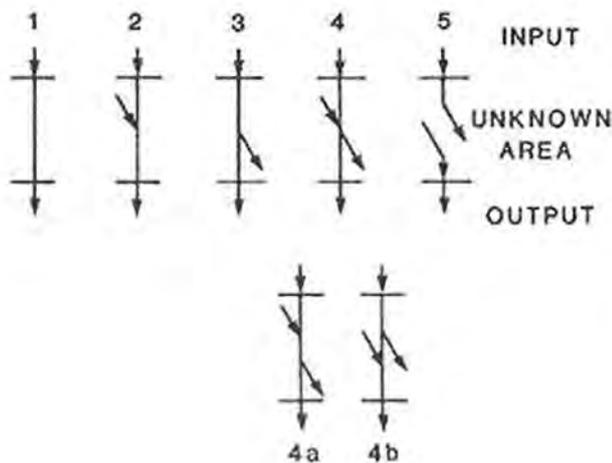


Fig. 13. Diferentes relaciones espectrales de las fuentes adicionales eventuales de pérdidas y aportes de trazador en sistemas cársticos naturales (tomado de Jones, 1984a).

La cantidad de trazador y el tiempo de monitoreo a veces constituyen unas fuertes limitaciones para la realización de estos ensayos. Debe tomarse en cuenta que algunos de estos experimentos pueden demorar meses, por lo que la observación se encarece sustancialmente. Por eso, entre otras razones, se han propuesto algunos métodos para estimar la cantidad de trazador que puede necesitarse. Sin embargo, no olvidar, que siempre es conveniente añadir un poco más si se presume que pueden enfrentarse zonas de pérdidas en el curso del ensayo.

Algunas fórmulas para estimar la cantidad de trazador son las siguientes (Jones, 1984b; Antigüedad, Ibarra, Morales, 1989-1990):

Aley y Fletcher (para la fluoresceína):

$$(16) \quad Wd = 1,478 \left(\sqrt{\frac{DQ}{V}} \right)$$

Ravier, Hours y Scheebeli (para dicromato potásico):

$$(17) \quad P = \frac{3QL}{A} + 0,1V$$

Ravier, Hours y Scheebeli (para la fluoresceína):

$$(18) \quad P = \frac{KQL}{A} + 0,02V$$

Martel (para trazadores fluorescentes, fórmula muy usada por los espeleólogos pero, sobre todo para trazados cualitativos):

$$(19) \quad P = NQ$$

Bekchourin (gramos para cada 10 metros de recorrido):

- 5-20 Rocas arcillosas
- 2-10 Arenas
- 2-20 Rocas fisuradas
- 2-10 Rocas cársicas

En la fórmula de Aley y Fletcher:

Wd, peso del trazador (referido a la fluoresceína salvo indicación en contrario), en kg.

D, distancia en línea recta desde el punto de ingreso al de salida estimada, en km.

Q, caudales en m³/s

V, velocidad de circulación del agua en m³/h

En las fórmulas restantes:

P, peso del trazador (referido a la fluoresceína salvo indicación en contrario), en kg.

Q, caudales en la zona de descarga, en m³/s

A, velocidad real del agua subterránea, en m/d

V, volumen de reservas de agua subterránea, en 10³ m³

K, coeficiente que se toma 0,5 para la circulación a través de fisuras o canales y 3, para formaciones porosas

Las propiedades espectrales de los trazadores son de obligada consideración en la selección de la tinta a utilizar. Estas tienen la propiedad de absorber la luz de cierta longitud de onda (excitación del espectro de absorción) y, al mismo tiempo, de emitir luz con longitudes de onda mayores, lo que se conoce como emisiones del espectro de fluorescencia. Ambos espectros constituyen propiedades de cada trazador fluorescente de manera que pueden detectarse individualmente o en una mezcla de varios, lo que a veces resulta útil en ciertos experimentos de trazado. La Fig. 14 muestra los espectros de excitación (A) y emisión (E), de algunas tintas fluorescentes. La Fig. 15 muestra los es-

pectros típicos de fluorescencia de algunas mezclas de tintas fluorescentes en soluciones acuosas.

Los esquemas de recuperación de trazador, identificados mediante las correspondientes curvas de paso constituyen el elemento básico para la interpretación de los resultados. Los indicadores básicos se describen en la Fig. 16. que representa a dos estaciones de monitoreo en los sitios n y n+1 de un conducto no ramificado sin influjos o eflujos laterales. En la Fig. 16, los términos son los siguientes, tomando en cuenta que, para u trazador conservativo, el área bajo la curva en el sitio n es igual a la del sitio n+1:

- Te, tiempo de la primera llegada
- Tp, tiempo al pico (máximo del trazador)
- Tc, Tiempo al centroide
- Td, tiempo total de paso del trazador
- Cp, concentración máxima en el pico
- Ac, concentración media del trazador

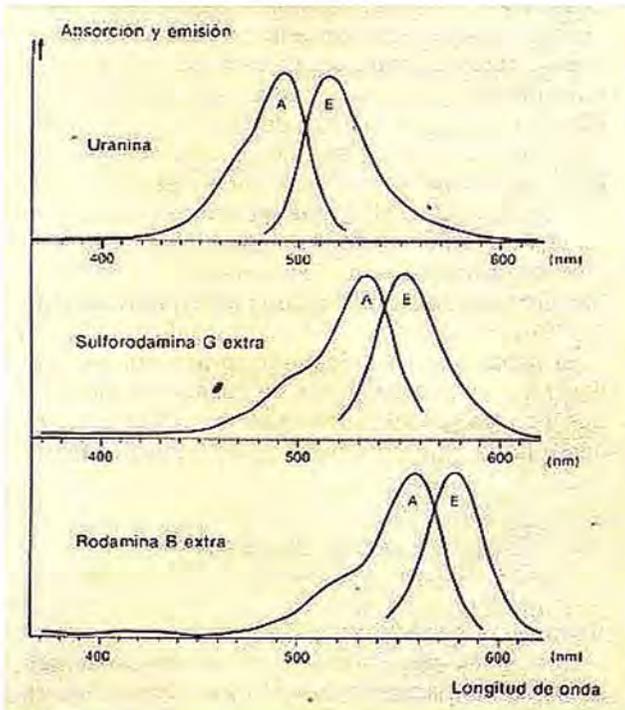


Fig. 14. Espectros de excitación (A) y emisión (E), de las tintas fluorescentes Uranina, Sulforodamina G y Rodamina B (según Zojer, 1988)

La cantidad total de trazador recuperada en cada punto de descarga (Wd) se estima según la expresión siguiente, cuyos parámetros se determinan a partir de la curva de paso:

$$(20) \quad Wd = Q_o C dt$$

Y la proporción porcentual recuperada (Rp) :

$$(21) \quad Rp = 100 \cdot \frac{C_{\text{observado}}}{C_{\text{conservativo}}}$$

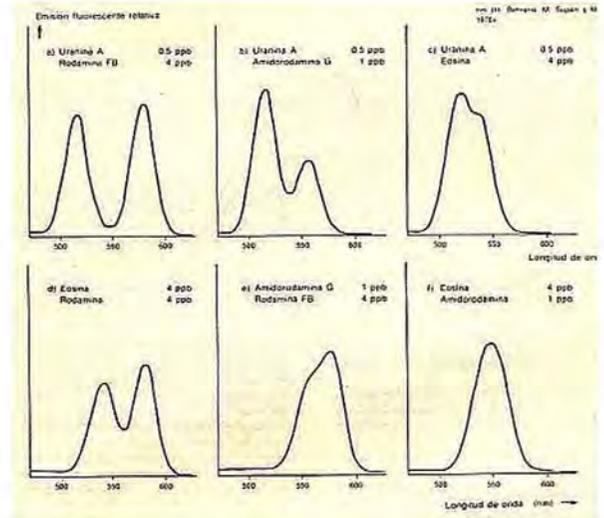


Fig. 15. Espectros típicos de fluorescencia de algunas mezclas de tintas fluorescentes en soluciones acuosas (según Zojer, 1988)

Los límites de detección dependen particularmente del método aplicado y de los instrumentos de medición. La Tabla 9 resume algunos valores compilados por Zojer (1988) de diferentes fuentes. (Ver tabla 9)

La Fig. 17 muestra la curva de paso de un trazador colorante, en este caso la Rodamina B (C28H31N2O3Cl), trazador muy estable a los cambios en el pH de las aguas y a las bacterias., empleado para conocer, mediante una aproximación Euleriana, si existían fugas de cierto ducto que eventualmente convergerían en un acuífero. La complicación del ensayo del trazado venía dada porque el ducto es soterrado en parte de su recorrido y, por ello, el trazador debía atravesar una zona no saturada de unos tres metros de espesor antes de llegar al acuífero y converger a los pozos de observación.

En este caso se emplearon detectores pasivos con carbón activado, altamente recomendables. El muestreo activo se realizó mediante el monitoreo de eventuales cambios en la fluorescencia y coloración natural de las aguas marcadas mediante medición directa con luz ultravioleta y testificados mediante elutriante amoniacal.

Tabla 9. Límites de detección de algunas tintas fluorescentes (resumido de Zojer, 1988)

Tinta	Límite (en ppb)	Fuente
Uranina	0,001-0,025	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Uranina	0,12	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Eosina	0,05-0,5	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Eosina	1	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Amidorodamina G	0,001-0,05	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Amidorodamina G	0,05	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Rhodamina B	0,01-0,5	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Rhodamina B	0,02	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Tinopal	≅ 0,4	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Tinopal	2,5	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988

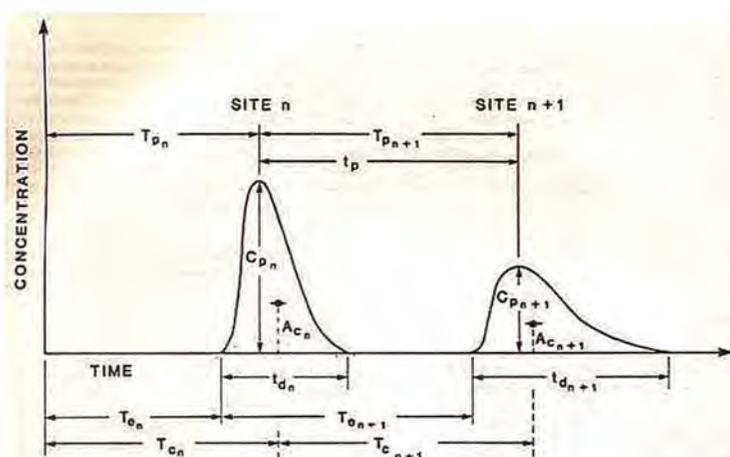


Fig. 16. Indicadores básicos de las curvas de recuperación a partir de ensayos instantáneos (según Jones, 1984b)

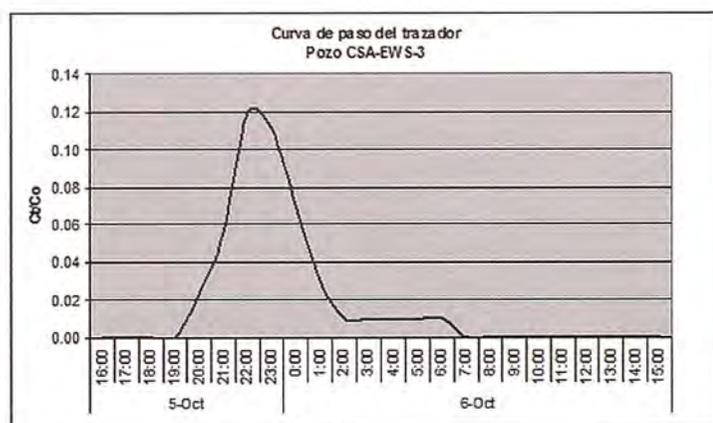


Fig. 17. Curva de paso de Rhodamina B en un ensayo de trazado artificial mediante inyección instantánea

Nota final

Las técnicas de trazadores ambientales y artificiales para la gestión ambiental de los yacimientos gasopetrolíferos onshore de la Franja de Crudos Pesados del Occidente de Cuba (FCPOC) se ajustan perfectamente a las condiciones hidrogeológicas que predominan en superficie. En efecto, los

acuíferos cársicos litorales que se extienden por toda la región son amenazados permanentemente por su elevada vulnerabilidad hidrogeológica frente a la contaminación inducida por la intrusión marina, la agricultura, recreación pero, básicamente, por la exploración y explotación de los yacimientos de petróleo y gas. En gran parte de la FCPOC, las aguas subterráneas constituyen la única fuente de abastecimiento de agua potable para consumo doméstico, industrial y agropecuario. Por ello, ellas y los suelos constituyen un elemento importante a proteger de impactos no deseados que deterioren la calidad de las aguas o alteren su régimen.

El empleo sistemático del monitoreo hidrogeológico ambiental en parte soportado por el muestreo sistemático de ciertos trazadores ambientales como el Tritio y el Radón-222 ha permitido a algunos operadores identificar su alcance de responsabilidad respecto a contaminaciones antiguas, en tránsito, por los yacimientos que actualmente explotan, actuar con diligencia y eficiencia frente a derrames de crudo o de aguas de capa y marinas, evaluar las capacidades de atenuación natural de ciertos crudos bajo determinadas condiciones de contorno y gestionar con mayor efectividad el medio ambiente regional.

Referencias

- Ahn, J. S.; S. J. Kim; J. W. Kim. 1992. *Environmental isotope studies in sea water intrusion into south eastern coastal aquifer in Cheju island*. IAEA-SM-319/60, Vienna: IAEA, 22p
- Aley, T. 1984. *Groundwater tracing in water pollution studies*. NSS Bull- (United States) (46):17-20

- Alcalá, F.J., E. Custodio. 2002. La deposición atmosférica de cloruro al terreno en España. *Bol. Geol. Min. (España)* (115):319-330
- Alcalá, F.J., E. Custodio. 2004. La relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad en algunos acuíferos de España y Portugal. *Inst. Geol. Min. España (España)*, 3:
- Anati, D. A.; J. R. Gat. 1988. Restricted marine basins and marginal sea environment. En/ P. Fritz & J. Ch. Fontes (ed): *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Vol. III, Vienna: IAEA, 73p
- Antigüedad, I., V. Ibarra, T. Morales. 1990. Los trazadores en la hidrogeología kárstica: Metodología de su uso e interpretación de los ensayos de trazado. *Munibe - Ciencias Naturales (España)*, 41:31-45
- Araguás Araguás, L.; R. Gonfiantini. 1992. Los isótopos ambientales en los estudios de la intrusión marina. Vienna: IAEA, 60p:
- Benischke, R., H. Zojer, P. Fritz, P. Maloszewski, W. Stichler. 1988. Environmental and artificial tracer studies in an alpine karst massiff (Austria). IAH 21st. Congr. Karst hydrogeology and karst environmental protection, Guilin, China : IAH, Wallingford, UK 947p
- Burnett, B, T. Nelson, R. Corbett, L. Robinson, J. Weaver, J.E. McKisson, D. Lane-Smith. 1998. Improvements in the measurement of Rn-222 in natural waters. 44th Annual Conf. Bioassay, Analytical, and Environ. Radiochem, New Mexico: Vienna: IAEA, 4 p.
- Cabral, J. M. P.; P. M. Carreira; M. C. Vieira; J. Braga dos Santos; M. J. Leitao de Freitas; R. Gonfiantini (1992): Study of groundwater salinization in Algarve, Portugal, using environmental isotope techniques. Vienna: IAEA, 5p
- Celle-Jeanton, H., L. Gourcy, P. Aggarwal (2000): Reconstruction of Tritium Time Series in Precipitation. Vienna: IAEA, 1p
- Clark, I.D. , P. Fritz (1997): *Environmental Isotopes in Hydrogeology.*, Boca -Raton, New York: Lewis Publ., 328p
- Clayton, R. N.; I. Friedman; D. L. Graf; T. K. Mayeda; W. F. Meents; N. F. Shimp (1966): The origin of saline formation waters. 1. Isotopic composition. *J. Geophys. Res. (United States)* 71(6):3869-3882
- Craig, H.; L. I. Gordon (1965): Deuterium and Oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. En/ Tangiorgi, E. (ed): *Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures* - Vienna: IAEA, 130 p
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1985): NC-93-02-1985. Agua potable. Requisitos sanitarios y de muestreo. ONN: La Habana, 32p
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1986): NC-93-01-1986. Fuentes de abastecimiento de agua, calidad y protección sanitaria. ONN: La Habana, 38p
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1987): NC-93-01-103. Clasificación de la utilización de las aguas interiores. ONN: La Habana, 5p
- Dansgaard, W. 1964. Stable Isotopes in Precipitation. *Tellus (Norway)* (16):436-468
- Doney, S.C., D.M. Glover, W.J. Jenkins (1992): A model function of the Global Bomb-Tritium Distribution in Precipitation., *Jour. Geophys. Res. (United States)* 97 No. C4, :5481-5492
- Eriksson, E. (1967): *Isotopes in Hydrometeorology. Isotopes in Hydrology*, Vienna: IAEA, 233p
- Eriksson, E. (1976): The distribution of salinity in groundwaters of the Delhi region and recharge rates. *Proc. Symp. Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology*, I Vienna: IAEA, 1778p
- Eriksson, E. (1983): *Stable isotopes and tritium in precipitation. IAEA: Guidebook on nuclear techniques in hydrology. Tech. Rep. Series 91*, Vienna: IAEA, 193p
- Ferronsky, V. I.; V. S. Brezgunov (1980): Stable isotopes and ocean dynamics. En P. Fritz & J. Ch. Fontes (ed): *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Vol. III:1-27 Vienna: IAEA, 345p
- Fimk, T.R. , P.- Womer 1993. Pollution prevention opportunities in oil and gas production, drilling and exploration. Seattle: Pacific Northwest Poll. Prev. Res. Center, 11p
- Gat, J. R. (1981): Isotopic fractionation. En Gat, J.R., R. Gonfiantini (1981): *Stable isotope hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. IAEA Tech. Rep. Series 210*, Vienna: IAEA, 334p
- Gat, J. R.; Y. Tzur (1967): Modification of the isotopic composition of rainwater by processes which occur before groundwater recharge. *Isotopes in Hydrology*. Vienna: IAEA, 496p
- Gat, J.R., R. Gonfiantini (1981): *Stable isotope hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. IAEA Tech. Rep. Series 210*, Vienna: IAEA, 339p
- Gonfiantini, R.; M. Simonot (1987): Isotopic investigations of groundwater in the cul-de-Sac Plain, Haiti. *Proc. Symp. Isotope Tech. in Water Resources Development*, Vienna: IAEA, 506p
- Gutiérrez, J.; H. Travieso (1978): Características físicas y químicas de las aguas de precipitaciones

cubanas. *Voluntad Hidráulica, La Habana (Cuba)* (47-48):18-22

Herrman, A., B. Finke, M. Schöniger, P. Maloszewski, W. Stichler (1990): *The environmental tracer approach as a tool for hydrological evaluation and regionalization of catchment systems. Regionalization in Hydrology, Proc.Ljubljana Symp. Rotterdam:IAHS Publ. 558p*

Hunkeler, D., E. Hoehn, P. Höhener, J. Zeyer. 1997. *222Rn as a partitioning tracer to detect diesel fuel contamination in aquifers: laboratory and field observations. Environ.Sci. Technol (Belgium), 31 pp 3180-3187.*

Hunkeler, D, P. Höhener, J. Sèller. 1997. *Can 222Rn be used as a partitioning tracer to detect mineral oil contaminations?. Tracer Hydrology. 97. Rotterdam: Balkema, 668p*

Jones, W.K. 1984a. *Analysis and interpretation of data from tracer tests in karst areas. NSS Bull-(United States) (46):41-47*

Jones, W.K. 1984b. *Dye tracer tests in karst areas. NSS Bull- (United States) (46):3-9*

Kaufmann, S., W.F. Libby (1954): *The natural distribution of Tritium. Phys. Rev., (United Kingdom) 93:1337-1344*

Köhn, J. E.E. Kruse, J. E. Santos, 2006. *Transporte de cloruro en acuíferos aluviales. La Plata: Univ. Nac. La Plata, 8p*

Maloszewski, P., A. Zuber (1990): *Mathematical modeling of tracer behaviour in short term experiments in fissured rocks. Water Resour.Res. (United States) 26(7):1517-1528*

Maloszewski, P., A. Zuber (1991): *Influence of matrix diffusion and exchange reactions on radiocarbon ages in fissured carbonate aquifers. Water Resour.Res. (United States) 27(8):1937-1945*

Maloszewski, P. (1992): *Mathematical modelling of tracer transport in different aquifers: results from ATH test fields. Proc. 6th. Internatl.Symp. Water Tracing, Karlsruhe, Ger., Rotterdam :A.A. Balkema, 250p*

Maloszewski, P., W. Rauert, W. Stichler, A. Herrmann (1983): *Application of flow models in an alpine catchment area using tritium and deuterium data. Jour.Hydrol. (United States) 66:319-330*

Maloszewski, P., A. Zuber (1992): *On the calibration and validation of mathematical models for the interpretation of tracer analysis in groundwater. Adv. Water Resour. (United States) 15:47-62*

Maloszewski, P., A. Zuber (2004): *Manual of lumped parameter models used for the interpretation*

of environmental tracer data in groundwaters. In-édito. GSF-Institute of Hydrology, Nehuerberg.

Maloszewski, P., W. Stichler, A. Zuber (2004): *Interpretation of environmental tracers in groundwater systems with stagnant water zones. Isotopes in Environmental and Health Studies (United States) 40 (1):21-33*

Mangin, A. 1975. *Contribution a létude hydrodynamique des aquifers karstiques. Thèse. CNRS: Moulis: 356p*

Molerio León, L. F. 1981. *Notas para un Modelo Conceptual del Desarrollo del Karst en Cuba. Voluntad Hidráulica, La Habana, (Cuba) XVIII (56):21-23*

Molerio León, L. F. 1992a. *Composición Química e Isotópica de las Aguas de Lluvia de Cuba. II Cong. Espel. Latinoamérica y el Caribe, Viñales, Pinar del Río, Cuba. SEC: La Habana, 200p*

Molerio León, L. F. 1992b. *Modelo de Transporte de Masa en la Zona No Saturada de los Acuíferos Cársicos. 1/Algoritmo ADRIANA .versión 2.91. 1er Taller Iberoamericano de Informática y Geociencias, Acad. Cienc. Cuba, La Habana, 134p*

Molerio León, L. F. 1992c. *Procesos de Transporte de Masa en la Zona No Saturada de los Acuíferos Cársicos Tropicales. GTICEK. Taller Internac. sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Matanzas, Publ. Universitat Jaume I de Castelló: España, 235p*

Molerio León, L. F. 1993. *Factores de Control de la Variación de Cloruros en un Acuífero Cársico Tropical. II Jornadas Venezolanas de Geología Ambiental, Maracaibo, Venezuela. MARNR:Caracas, 10 p*

Molerio León, L.F. 2003. *Aplicaciones de Radón-222 en la identificación de contaminación por hidrocarburos en acuíferos cársicos. VII Taller Internacional "Informática y Geociencias". GEOINFO 2004. Comisión de Modelación Matemática. <http://www.iga.cu>. Revista Electrónica "Memorias de Geoinfo", La Habana, Cuba*

Molerio León, L.F. 2004. *El enlace absorción-descarga de la Gran Caverna de Santo Tomas: evidencias derivadas de un ensayo con trazadores artificiales. Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana (Cuba) XXV (3): 22-26*

Molerio León, L.F. 2006a. *Procesos de Transporte de Masas en la Cuenca Santa Ana, Cuba. 1. Transporte en la zona no saturada. Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra (113), Madrid, (España) Octubre :72-81.*

Molerio León, L.F. 2006b. *Procesos de Transporte de Masas en la Cuenca Santa Ana, Cuba. 2. Variabilidad espacial e incertidumbre de las propieda-*

- des físicas. *Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra* .113., Madrid (España) Octubre 82-88.
- Molerio León, L.F. 2006c. Radón 222, Tritio, intrusión marina y contaminación por hidrocarburos en acuíferos cársicos litorales. *Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra*, Abril, Madrid, (España) (108):25-30.
- Molerio León, Leslie F.; P. Maloszewski; M.G. Guerra Oliva; O. A. Regalado; D. M. Arellano Acosta; C. March Delgado & K. del Rosario .1993. *Dinámica del Flujo Regional en el Sistema Cársico Jaruco-Aguacate, Cuba. Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 1994, IAEA TECDOC-835: Vienna: IAEA, 474p*
- Molerio León, Leslie F.; Yoemí Portuondo López & Yamilé Bustamante Allen .1996. *Migración de Hidrocarburos en Acuíferos Cársicos. Factores de Control de Transporte y pronóstico del Movimiento. Taller Nac. Manejo de Desastres por Derrame de Hidrocarburos. C. de La Habana: Estado Mayor Nac. Def.Cív, Sherritt Co., Geopetrol.: 192p.*
- Molerio León, L.F. & Y. Portuondo López .1997. *Design of Sea Water Intrusion Early Warning Systems in Coastal Karstic Aquifers: A Multivariate Approach. Draft Report. IHP-V Project 3.2. Monitoring Strategies for Detecting Groundwater Quality Problems, La Habana :INRH-UNESCO:, 27 p*
- Molerio León, L.F., K. del Rosario, J.C. Torres Rodríguez, E. Rocamora Álvarez, M.G. Guerra Oliva .2002a. *Factores de control de la composición química e isotópica de las aguas subterráneas en la región Varadero-Cárdenas, Matanzas, Cuba. Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, (Cuba) 23(2):36-46*
- Molerio León, L.F., P. Maloszewski, M.G. Guerra Oliva, D.M. Arellano, K. del Rosario .2002b. *Hidrodinámica isotópica de los sistemas acuíferos Jaruco y Aguacate, Cuba. Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, Cuba 23(2):3-9*
- Molerio León, L.F., E. Rocamora Álvarez .2005. *Sistemas acuíferos del noreste de la provincia de La Habana, Cuba. Memorias. VI Congreso de Geología, La Habana. Memorias 1ª Conv. Cubana de Ciencias de la Tierra. 11 p*
- Morell Evangelista, I. 2002. *Hidrogeoquímica del Boro. Castellón: Universitat Jaume I, 32p*
- Moser, H., W. Rauert, G. Morgenschweis, H. Zojer. 1986. *Study of groundwater and soil moisture movement by applying nuclear, physical and chemical methods. Paris: UNESCO, 104p*
- Panno, S.V., K.C. Hackley, H.H. Hwang, S. Greenberg, I.G. Krapac, S. Landsberger, D.J. O'Kelly. 2004. *Source identification of sodium and chloride contamination in natural waters: Preliminary results. USA Geol. Survey. Washington Ill. 25p*
- Seiler, K.P., P. Maloszewski, H. Behrens (1989): *Results on hydrodynamic dispersion in the karstified aquifer of the Upper Jura of Frankonian Alb, FR Germany. Proc.Internatl.Symp. Contaminant transport in groundwaterRotterdam, Stuttgart : Balkema, 838p*
- Soerens, T. S., A. Ghanem, J. Smith, M.A. Mhia. 2004. *Characterizing DNAPL in groundwater using partitioning fluorescent dyes. Publ. Univ. Arkansas: Arkansas, 9p*
- Stout, G. E.; F. A. Huff (1967): *Rainout characteristics for hydrological studies. Isotopes in Hydrology, Vienna: IAEA, 617p*
- Surbeck, H. 1996. *A Radon-in-Water based on fast gas transfer membranes. Internatl. Conf. Technologically enhanced natural radioactivity caused by non-uranium mining, Polonia: Szczyrk, 9 p*
- Trúsov. I. I.; A. Izquierdo; L. R. Díaz 1983: *Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba. La Habana: Edit. Academia, 150p*
- Wallick, E. I.; J. Tóth 1976: *Methods of regional groundwater flow analysis with suggestions for the use of environmental isotopes. Proc. Symp. Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology, Vienna: IAEA, 376p*
- Weiss, W., W. Roether 1980: *The rates of Tritium input to the World Ocean. Earth Plante. Sci.Lett., (United States) 49, 435-446*
- Werner, D., P. Höhener. 2002a. *Diffusive partitioning tracer test for Nonaqueous Phase Liquid (NAPL) detection in the vadose zone. Environ. Sci. Technol, (United States) 36:1592-1599*
- Werner, D., P. Höhener. 2002b. *The influence of water table fluctuations on the volatilization of contaminants from groundwater. Proc. Groundwater Quality 2001, Sheffield: IAHS Publ. 275, pp 213-218*
- Yurtsever, Y.; J. R. Gat 1981: *Atmospheric waters. in/ Gat, J.R., R. Gonfiantini (1981): Stable isotope hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. IAEA Tech. Rep. Series 210, Vienna: IAEA, 1032*
- Zojer, H, 1988: *Técnicas de trazadores. Ing. Hidr. Méx. (México). 3(2):43-58*

Bases para el Manejo Energético Ambiental del sector costero de la cuenca del río Sevilla del municipio Guamá en apoyo al desarrollo local sostenible

José A. Planas Fajardo

Centro de Investigaciones de Energía Solar. CIES

Jorge Luis Machín

Instituto de Geografía Tropical. IGT.

Alberto Beyris Masar

Centro Oriental de Biodiversidad y Ecosistemas. BIOECO

Resumen

Se presenta un modelo metodológico consistente en la aplicación de diferentes técnicas de participación para la integración de actores locales, que permiten el desarrollo de las bases para la elaboración del plan de manejo integrado de la cuenca del río Sevilla, perteneciente al municipio Guamá en la provincia Santiago de Cuba. Como estrategia de trabajo se parte de la determinación participativa de los principales problemas ambientales en este territorio, la identificación de las tareas relacionadas con las medidas para la conservación de la naturaleza, soluciones para la reducción de la vulnerabilidad y las amenazas naturales y provocadas por humanos y las vías más adecuadas para lograr la transferencia apropiada de tecnologías para el uso sostenible de las fuentes renovables de energía. Se presentan los principales resultados logrados hasta la cuarta etapa.

Palabras Claves: Zonas Costas, indicadores de sostenibilidad ambiental, participación local

Abstract

It are presented a methodological model consisting in the application of different participation techniques for the integration of local actors that allow the creation and development of bases for the elaboration of the integrated management plan to the coastal zone of the Seville river's basin of Guamá municipality in Santiago de Cuba province. As strategy of work is started from the determination of the main environmental problems in this territory, the identification of the main tasks related with the measures for the conservation of the nature, solutions

for the reduction of the vulnerability and the natural threats and caused for human and the most appropriate ways to achieve the transfer of technologies for the sustainable use of the renewable energy sources. The main results achieved until the fourth stage of the model are presented.

Key words: Coastal Zone, indicators of environmental sustainability, management, local participation.

Introducción

En Cuba existe una abundante legislación relacionada con el manejo sostenible de los recursos naturales, sin embargo, no siempre las instituciones responsabilizadas con los procesos de ordenamiento y gestión en estas áreas poseen adecuadas estrategias de trabajo que tengan en cuenta las interacciones entre las zonas litorales y las cuencas hidrográficas, a la hora de elaborar y poner en marcha los planes de desarrollo en estos territorios. A nivel de país se trabaja en el diseño de políticas y mecanismos de planificación para el ordenamiento y la gestión ambiental, con el propósito de articular las estrategias de conservación y aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales, con los planes directores turísticos y los planes de manejo de áreas protegidas. A pesar de esto, persisten importantes conflictos socio-ambientales en torno al uso del suelo, la conservación de ecosistemas naturales y la protección de la biodiversidad, así como en relación con la gestión ambiental en las cuencas hidrográficas.

En correspondencia con esta situación, la presente contribución propone la aplicación de un mo-

delo metodológico para ser aplicado al manejo integrado de zonas costeras y las cuencas hidrográficas relacionadas, que requiere la aplicación de diferentes técnicas participativas que aseguren una descentralización en la toma de decisiones a los gobiernos locales, instituciones científicas y organismos involucrados en los programas de gestión ambiental en estas zonas.

Este modelo, basado en el concepto de manejo integrado de zonas costeras (MIZC), se enfoca en este artículo hacia tres cuestiones fundamentales: la conservación de la naturaleza; el aprovechamiento racional de los recursos energéticos y la prevención de los peligros naturales y antrópicos que repercuten en el incremento de la vulnerabilidad de los ecosistemas y las comunidades.

Los métodos y procedimientos propuestos se aplican actualmente en la zona costera de la cuenca del río Sevilla, territorio con una compleja situación ambiental y socioeconómica, donde confluyen fuertes amenazas naturales y procesos de degradación de recursos naturales, estos últimos asociados al mal manejo de los suelos.

De ahí que el objetivo fundamental de esta investigación es contribuir al desarrollo de las bases para la elaboración de programas de manejo en esta zona, que propicien el perfeccionamiento del ordenamiento territorial y los planes de gestión energética ambiental en áreas claves, a partir de la reorganización de los espacios y procedimientos de concertación de los actores locales, mediante el empleo de herramientas de análisis multicriterio en la toma de decisiones para el establecimiento de un plan de manejo integrado de la cuenca hidrográfica del río Sevilla.

Se aporta un modelo conformado por procedimientos para el manejo de sectores costeros a nivel local desde una perspectiva participativa, basada en el logro de acuerdos sociales y empleando las estructuras de los Consejos Populares y las comunidades. Responde a la Estrategia Ambiental Nacional, al marco legal ambiental, a las normativas para el MIZC en Cuba y las propuestas de la Agenda 21 locales, las cuales orientan trabajar para lograr un desarrollo armónico de las distintas actividades que se realizan en la zona costera, basados en el concepto de desarrollo sustentado en la responsabilidad ambiental para la toma de decisiones.

La propuesta está dirigida fundamentalmente a perfeccionar la definición y compatibilización de criterios para la elaboración de Planes de Manejo en

Zonas Costeras, y su relación con el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas, mediante la introducción en un caso de estudio, de diversas variables tecnológicas y organizativas.

Materiales y Métodos

En esta investigación también se combina la teoría y el enfoque de los métodos fundamentales de la Planificación Territorial como la Geografía Multiespacial (Arredondo, M., 2006)¹ y la Ecología del Paisaje (Salinas, 2001)², incorporándoles como cuestión novedosa diferentes modelos que simplifican y jerarquizan la planificación del desarrollo territorial mediante la determinación participativa de los Indicadores Locales de Sostenibilidad Ambiental (ILSA), y la definición de un sistema de evaluación, que permite el planteamiento y análisis de escenarios de gestión.

Se presentan también los procedimientos para la determinación de las Unidades de Manejo Energético Ambiental de Zonas Costeras (UMEAZC), como espacios geográficos para la zonificación funcional de estos territorios.

Entre los antecedentes teóricos se tuvo en cuenta el modelo propuesto por Cicin (1998)³ de seis pasos: Identificación y Evaluación, Programa de planeamiento y preparación, Adopción formal, Implementación, Operación y el de Evaluación; y analizaron las propuestas de acciones esenciales que corresponden a los pasos del ciclo de MIC de Olsen (1999)⁴. Estos modelos consideran al MIZC como un proceso continuo de ciclos sucesivos con diferentes estadios que se repiten, debiendo avanzar en el tiempo de manera ascendente, a partir de las experiencias y resultados de los ciclos anteriores, los cuales pueden tener distinta duración según el país de aplicación. Son los más conocidos internacionalmente, de donde han surgido diferentes adaptaciones según las características específicas o los intereses de manejo.

En Cuba está la propuesta nacional realizada por el CITMA, sobre los pasos para el establecimiento de las Zonas Bajo Régimen de Manejo Integrado Costero (Salabarría, 2011)⁵; (Brito, 2011)⁶, la que plantea la necesidad de cinco fases a partir del Mandato Inicial: Identificación del asunto, Preparación del programa, Establecimiento formal, Implementación y Evaluación. Aunque esta se considera viable y a tono con las necesidades nacionales, se proponen aportes para la instrumentación de planes de manejo de zonas costeras contenidos en los Programas de Manejo Energético Ambiental,

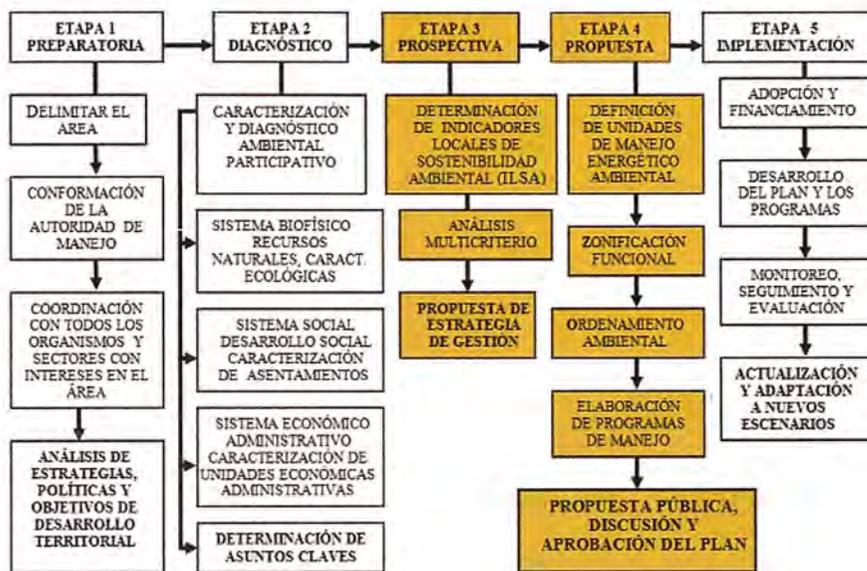


Figura 1. Modelo metodológico para el desarrollo del manejo Energético ambiental de zonas costeras

jar toda la cuenca. Sin embargo, se consideró oportuno restringir los límites de manejo en una primera fase solo a la zona litoral y área inferior de la cuenca, para utilizar con mayor racionalidad los esfuerzos y recursos económicos con que se dispone en la actualidad. Esto permitió comenzar por la zona identificada como de mayor prioridad, primero por ser la zona más poblada y de mayor actividad económica de la cuenca y en segundo lugar porque presenta los mayores conflictos de uso, a lo que se suman afectaciones originadas por fenómenos naturales adversos.

que propician una participación social más efectiva y sostenible en el tiempo.

Se implementa en la práctica un modelo que contempla cinco etapas: Preparatoria, Diagnóstico, Prospectiva, Propuesta e Implementación; las que se desarrollan mediante una consecución lógica, concebidas como un sistema de ayuda a la toma de decisiones (Ver Fig.1).

Este modelo particulariza en el sistema de ordenamiento y gestión energética y ambiental, mediante la revalorización del papel de los Consejos Populares y el resto de los actores locales en la toma de decisiones. Se proponen procedimientos dirigidos a perfeccionar los actuales mecanismos para el cumplimiento de las Etapas del ciclo de MIZC en Cuba, con la instrumentación de los Planes y Programas de Manejo Energético Ambiental en Zonas Costeras. Se puntualiza en el empleo de los Indicadores Locales de Sostenibilidad Ambiental como herramientas para la evaluación y la toma de decisiones en el ordenamiento y la gestión ambiental en estos territorios (Tabla 1).

Desarrollo

A continuación se presenta un resumen de los avances logrados en el desarrollo de las cuatro primeras etapas del proceso para la implementación del Plan de Manejo de la cuenca del río Sevilla.

En la etapa preparatoria fue delimitada el área de interés para el manejo, reconociendo la necesidad y pertinencia de traba-

Etapas	Principales acciones para la instrumentación de los Programas de Manejo Energético Ambiental en Zonas Costeras en la Región Suroriental de Cuba.
Preparatoria	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir la zona costera según el Decreto Ley 212 y a partir de esta definir el área de manejo integrado costero, teniendo en cuenta lo establecido por el CITMA en la propuesta de resolución del 2009 sobre las Zonas Bajo Régimen de Manejo Integrado Costero, extendiendo su área hasta donde sea de interés para las acciones de ordenamiento y manejo e incluyendo las cuencas hidrográficas relacionadas cuando se considere pertinente. 2. Proponer la creación de la Autoridad de Manejo y constituir un Grupo Local de Trabajo para el Manejo energético ambiental integrado, con un alcance espacial y administrativo a nivel de Consejos Populares, estructura que permite elevar el desarrollo de procesos de gestión ambiental participativa con los actores locales involucrados. 3. Realizar el análisis participativo de las estrategias de desarrollo planteadas para el territorio con el objetivo de determinar los principales conflictos de manejo y esclarecer cuáles son las líneas de desarrollo gubernamentales y las prioridades locales.
Diagnóstico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener la línea base ambiental con un diagnóstico energético ambiental participativo. 2. Determinar los asuntos claves para el manejo del territorio, con la participación de los representantes de los Consejos Populares correspondiente al área de interés de manejo. 3. Representación cartográfica de la situación ambiental actual y creación de la base de información georreferenciada, asequibles a los Consejos Populares.
Prospectiva	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar los ILSA como herramientas para la caracterización, evaluación y gestión integrada de las áreas de interés para el manejo energético ambiental. 2. Identificación del escenario de desarrollo deseado, para ser contemplado en el ordenamiento ambiental y la estrategia de gestión local. 3. Crear del modelo descriptivo - evaluativo de los escenarios de gestión.
Propuesta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaborar el mapa de paisajes de acuerdo a los requerimientos del MIZC. 2. Empleo de los ILSA en la selección de Unidades de Manejo Energético Ambiental de Zonas Costeras (UMEAZC). 3. Proponer el ordenamiento energético ambiental y la zonificación funcional de espacios físicos con enfoque ecosistémico. Conservación, reducción de riesgos y transferencia de tecnología para el uso de las Fuentes Renovables de Energía (FRE). 4. Establecer la compatibilidad de las actividades a desarrollar en las diferentes áreas funcionales, según las características naturales y las necesidades de desarrollo socioeconómico y su relación con los ILSA seleccionados. 5. Proponer el Plan con cinco programas básicos de MEAZC como respuestas de gestión. 6. Calcular el financiamiento de las acciones de gestión y distribuir según prioridades locales.
Implementación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emplear los ILSA en todo el proceso de implementación, creando mecanismos para su utilización en la evaluación y el monitoreo participativos. 2. Realizar procesos de retroalimentación a partir de los resultados de la tercera, cuarta y quinta etapas, para evaluar la pertinencia de los resultados y rectificaciones necesarias al ordenamiento y a los programas de gestión.

Tabla 1. Etapas de los Programas de Manejo Energético Ambiental de la Zona Costera

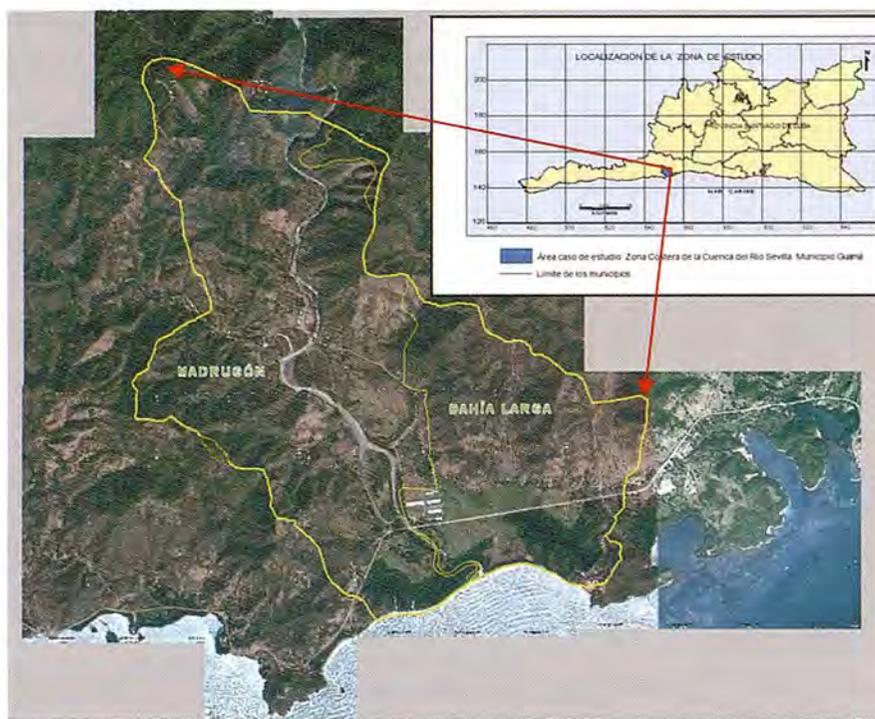


Figura 2. Localización del área seleccionada para el establecimiento del Plan de Manejo Integrado

Sus límites en tierra firme son: desde la línea costera hasta los parteaguas al Este y al Oeste de la cuenca, cerrando al Norte en un sector donde el cauce del río Sevilla se estrecha y profundiza, conocido como la zona de Los Morones. La parte marina llega hasta la isobata de 20 metros.

Posee una extensión de 19,20 Km² y cuenta con el 70% del total de la población de la cuenca, localizada en su totalidad en asentamientos rurales. Abarca áreas del Consejo Popular Madrugón y del Consejo Popular Bahía Larga. Las actividades económicas fundamentales son la agropecuaria, forestal y el turismo (Fig. 2).

En el Taller de conciliación y de socialización de la metodología y de los objetivos del trabajo, se contó con el apoyo y la participación de profesores del Centro Universitario de Guamá, funcionarios y representantes de los organismos vinculados o con intereses en la cuenca, pertenecientes a la Asamblea Municipal del Poder Popular. En el mismo se constituyó la Autoridad de Manejo de la Cuenca, liderada por el presidente del Consejo Popular de Madrugón.

En la etapa de Diagnóstico se profundizó en las causas de los actuales conflictos de manejo de las áreas claves de interés y de los impactos ambientales de

mayor incidencia en el estado general de la zona. Fueron identificados los problemas ambientales y los principales riesgos a los que están sometidas la población y las actividades económicas locales y se realizó una primera evaluación de las potencialidades para el empleo de las FRE en la zona y las posibles aplicaciones para el desarrollo económico y social.

Los asuntos claves de las áreas críticas para los objetivos del Plan de Manejo, se presentan en la tabla 2. De igual manera se presentan en la tabla 1 las propuestas identificadas colectivamente sobre las metas y acciones para la solución de estos problemas por orden de prioridad.

En la etapa prospectiva se partió de considerar la necesidad de dar solución priorizada a la escasez de agua en períodos de sequía y el restablecimiento del sistema de abasto de agua por gravedad, lo que resultó ser el problema principal determinado colectivamente; seguido por

1. Medidas inadecuadas para contrarrestar la sequía y dificultades de abasto de agua.
2. Uso inadecuado del suelo, deforestación e insuficiente nivel de reforestación.
3. Bajo aprovechamiento de tierras aptas para el cultivo.
4. Ausencia de transporte para la población y para la salida de producciones agrícolas.
5. Limitadas opciones de empleo local, especialmente para las mujeres.
6. Erosión de la playa por inadecuado ordenamiento territorial.
7. Afectaciones a la infraestructura existente por las inundaciones del río.
8. Bajo nivel de actividades para la educación ambiental.
9. Bajo empleo de las FRE en las actividades económicas y sociales.
10. Contaminación por vertimientos de la despulpadora de café y lavado de vehículos.
11. No existencia de mini-industrias para el procesamiento de productos locales.
12. Viales en mal estado. Contaminación atmosférica por suspensión de polvo.
14. Deficiente recepción de las señales de radio y televisión.
15. Ausencia de comunicación telefónica en la comunidad.
16. Pastoreo descontrolado en los manglares y en la playa.
17. Bajo nivel de actividades recreativas para la población.
18. Mal manejo de residuales.
19. Tala ilegal de bosques incluyendo el manglar.
20. Uso irracional del agua en las instalaciones del hotel y comunidades aledañas.
21. No existencia de un programa de cultivo permanente de hortalizas.
22. Baja calidad del agua de consumo humano.
23. Degradación de suelos por causas naturales y antrópicas.
24. Pesca ilícita y caza furtiva.

Tabla 2. Lista jerarquizada de importancia relativa de los asuntos claves

METAS	PROPUESTAS DE ACCIONES ESTRATÉGICAS
Desarrollar un programa para contrarrestar la intensa sequía y solucionar las dificultades con el abasto de agua.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar el potencial hídrico subterráneo para la construcción de pozos artesianos. 2. Rehabilitar sistema de abasto de agua para a la población y áreas de cultivos. 3. Diseñar e instalar sistemas alternativos de abasto de agua mediante FRE. 4. Reforestación de la cuenca hidrográfica. 5. Programa integral comunitario para la conservación y ahorro del agua. 6. Solución de los sistemas de tratamiento de residuales.
Solucionar el inadecuado uso de los suelos.	<ol style="list-style-type: none"> 7. Establecer un programa integral para el uso y conservación de los suelos. 8. Ordenamiento Agroecológico de los suelos (agrosilvicultura). 9. Implementar un programa de reforestación de las cuencas hidrográficas. 10. Desarrollar programas de capacitación a la población sobre técnicas de explotación racional y conservación del suelo.
Garantizar fuentes de empleo en especial para la mujer.	<ol style="list-style-type: none"> 11. Desarrollar un programa de huertos intensivos. 12. Desarrollo de la actividad de artesanía con recursos locales. 13. Desarrollar la mini industria para el procesamiento de producciones locales. 14. Incentivar el trabajo por cuenta propia en las modalidades posibles. 15. Capacitación dirigida por la FMC en diferentes modalidades de empleo.
Programas de transferencia tecnológica para el manejo sostenible de la zona costera.	<ol style="list-style-type: none"> 16. Programa de reforestación según capacidad ecológica y vocación del suelo. 17. Control forestal (Sistemas agrosilviculturales). 18. Ordenamiento ecológico para la restauración de playas y responsabilizar a las administraciones de las instalaciones recreativas, de su cuidado. 19. Reforzar la educación, la vigilancia y el control ambiental en la cuenca 20. Buscar alternativas que permitan el aprovechamiento de los residuales. 21. Eliminar la extracción de arena de las playas.
Reducción del riesgo y la vulnerabilidad ante amenazas naturales y antrópicas.	<ol style="list-style-type: none"> 22. Evaluar los riesgos y la vulnerabilidad de la infraestructura económica y social. 23. Soluciones ingenieras en zonas de crecidas del río en carreteras y caminos. 24. Programa integral para el mejoramiento constructivo y calidad de las viviendas. 25. Estudios de las causas y las soluciones de la pérdida de arena de la playa Sevilla. 26. Exigencia de normas constructivas y de licencias ambientales. 27. Manejo de sistemas de información para toma de decisiones en la construcción.
Desarrollar un programa para el uso Integral de las FRE en la zona.	<ol style="list-style-type: none"> 28. Evaluar el potencial natural para el uso de las FRE y proponer su aplicación en las actividades económicas y en el mejoramiento de la calidad de vida local. 29. Energizar comunidades aisladas (mini hidroeléctricas, acrogeneradores, energía fotovoltaica, cocinas eficientes, molinos cólicos, biodigestores, etc.). 30. Capacitar a la población local en el empleo de tecnologías de las FRE.

Tabla 3. Propuestas de metas y acciones para la solución de los metaproblemas

los conflictos del uso del suelo que contribuyen al incremento de la deforestación y a la erosión en áreas de pendientes pronunciadas. Este problema también repercute en las limitaciones existentes para hacer producir las áreas de cultivos en la llanura aluvial y la continuidad de un programa acuícola comenzado en la zona con anterioridad, lo que imposibilita además la creación de nuevos puestos de trabajo y el mejoramiento económico de las familias. Esta situación no favorece el desarrollo económico local, lo que hace difícil justificar inversiones para el mejoramiento de los viales, cuestión que permitiría el restablecimiento del servicio de transporte regular de pasajeros y el comercio de productos.

Lo anterior, sumado a otros problemas de diferente índole, desencadena acciones espontáneas de subsistencia y de adaptación por parte de la población local, como la búsqueda de portadores energéticos a partir de la producción descontrolada

de carbón, el uso de conucos particulares en tierras con grandes riesgos de erosión, la caza furtiva, la pesca ilegal, etc.; lo que ha repercutido negativamente en la conservación del medio ambiente.

Entre los problemas de mayor significación en la zona, está el acelerado proceso de pérdida de la duna de arena producto de la erosión marina, en el sector de playa donde se localiza la zona de baño más próxima al hotel Sierra Mar, debido a errores constructivos.

Teniendo en consideración toda la problemática del territorio se procede entonces a proponer acciones estratégicas priorizadas. (Tabla 3)

Para dar atención a problemas cuya solución propicie el mejoramiento de otros problemas relacionados, se pasó a la selección de los ILSA, de manera tal que nos permitieran orientar las estrategias y los programas de gestión hacia los escenarios deseados (Planas y col., 2011)7.

En la Tabla 4 se presentan los ILSA identificados para ser utilizados en un primer ciclo de manejo, los cuales guardan estrecha relación con las posibilidades actuales con que cuenta

la zona. No obstante, otras cuestiones que pueden surgir en el propio proceso de gestión irán siendo incorporadas de manera organizada en las acciones de rectificación de los programas de manejo.

En la etapa de Propuesta de Manejo Integrado Costero, la cuenca del río Sevilla, por su extensión y la homogeneidad de sus condiciones físico geográficas y socioeconómicas, así como debido a los intereses del ordenamiento y la necesidad de promover una gestión energética ambiental, se consideró una unidad básica de manejo, por lo que se procedió a evaluar y clasificar a los diferentes espacios con determinados niveles de complejidad y conflictos que requieren una diferenciación en su zonificación funcional.

Entre los estudios de mayor profundidad y actualidad del área está el resultado de un proyecto territorial del CITMA: Ordenación ecológica de las cuencas de los ríos Sevilla y Guamá, realizado por

Criterios	Presión	Estado	Respuesta de Gestión
Intensa sequía y dificultades con el abasto de agua.	1. Tiempo de máxima sequía (meses / año)	2. Casas e instalaciones sin abasto de agua 3. Áreas de cultivo sin riego (ha)	4. Viviendas con abasto de agua 5. Áreas de cultivo bajo riego (ha) 6. Programas de ahorro de agua (Si/No)
Inadecuado uso de los suelos.	7. Áreas agrícolas con usos actuales inapropiados según su vocación general (ha)	8. Áreas deforestadas (ha) 9. Deforestación Anual (ha). 10. Incendios forestales provocados / año. 11. Áreas agropecuarias en zonas de pendientes y agro productividad no apropiadas	12. Áreas reforestadas en la cuenca (ha / año) 13. Remediación de áreas degradadas (ha) 14. Áreas destinadas a la conservación (ha)
Deficiente empleo local en especial para la mujer.	15. Personas sin ocupación laboral permanente	16. Migraciones laborales anuales hacia la cabecera municipal y otros municipios (personas / año). 17. Mujeres sin vínculo laboral.	18. Cantidad de empleo creado por actividades económicas locales (agricultura, mini industrias, artesanía, turismo y otras)
Vulnerabilidad ante amenazas naturales y antrópicas.	19. Áreas vulnerables a penetraciones del mar e inundaciones fluviales	20. Infraestructura dentro de áreas vulnerables. 21. Tierras de cultivos en áreas inundables (ha). 23. Viviendas en mal estado constructivo. 24. Personas a evacuar ante eventos meteorológicos extremos. 27. Focos contaminantes. 29. Área afectada por erosión en la duna de la playa Sevilla (ha).	22. Cantidad de infraestructura constructiva fuera de las áreas de inundación. 25. Plan de contingencia para caso de inundaciones (Si / No). 26. Viviendas construidas reparadas o mejoradas 28. Tratamiento de residuales para focos contaminantes. 30. Ejecución del Proyecto Integral para recuperación de la playa (Si / No).
Condiciones y calidad de vida de la población en las comunidades	31. Ausencia de servicios básicos para la población residente (tipos)	32. Asentamientos a más de tres kilómetros del servicio de transporte público. 33. Hogares con mala receptividad de señales de radio y/o TV. 34. Viviendas sin electricidad. 35. Viviendas sin comunicación.	36. Recuperación del vial de acceso a Madrugón (Si / No). 37. Servicio regular de transporte de pasajeros y productos agrícolas (Si / No). 38. Asentamientos con servicio de comunicación telefónica colectiva.

Tabla 4. Indicadores Locales de Sostenibilidad Ambiental (ILSA)

BIOECO (2000). En este estudio se efectuó el ordenamiento ecológico de los suelos de la cuenca del río Sevilla a escala 1:25 000, empleando como indicadores para determinar las áreas con mayores peligros de erosión: el potencial agroproductivo, los tipos de cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de uso.

Se realizó una actualización de la situación ambiental mediante recorridos de campo y consulta a pobladores locales para la georreferenciación de

los usos del suelo actual, permitiendo obtener el mapa de uso del suelo a escala 1: 50 000, información base para las propuestas del Plan de Manejo (Fig. 3).

Fue confeccionado el mapa de pendiente (Fig. 4) lo que permitió que se determinaran las unidades físicas para la diferenciación del paisaje geográfico (Figura 5) en el que se representa la agrupación de áreas con mayor homogeneidad físico natural y económico social. Al respecto se diferenciaron tres unidades que poseen características particulares bien definidas:

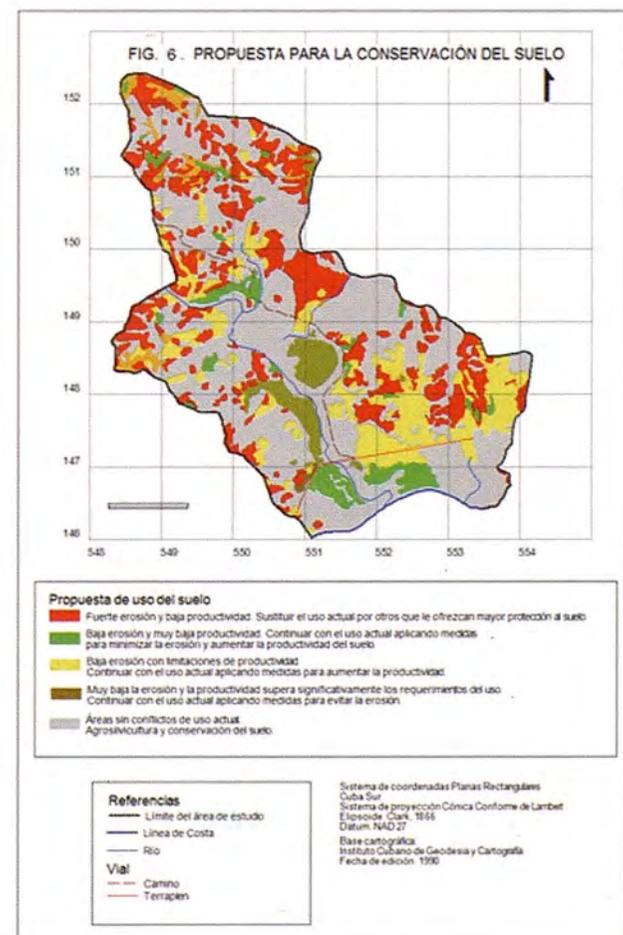
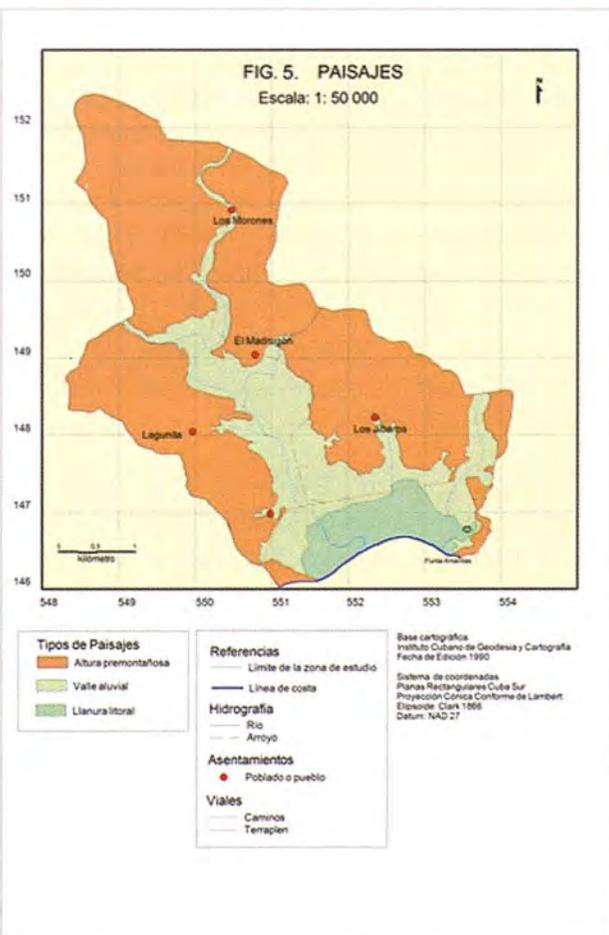
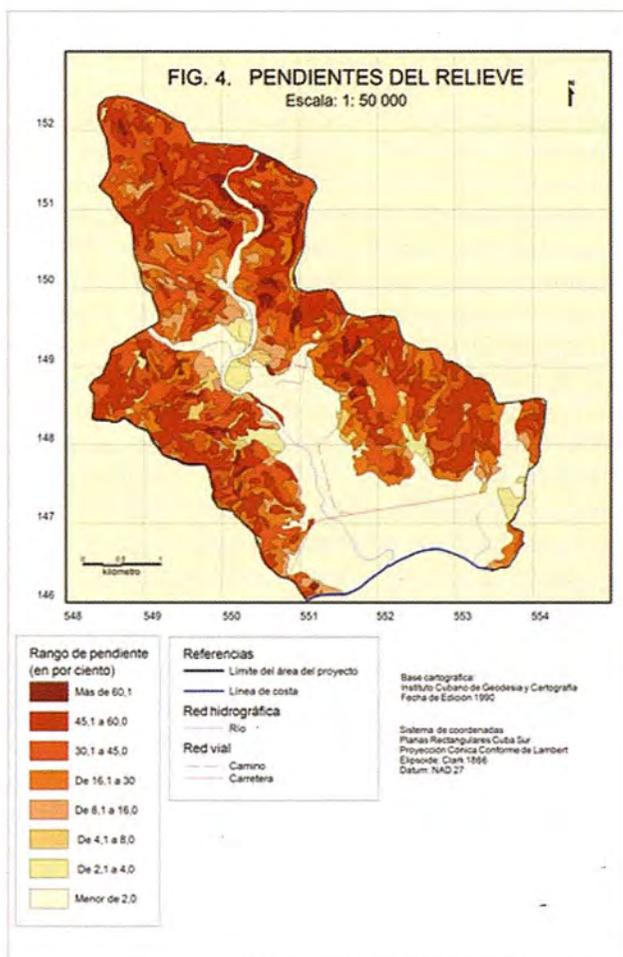
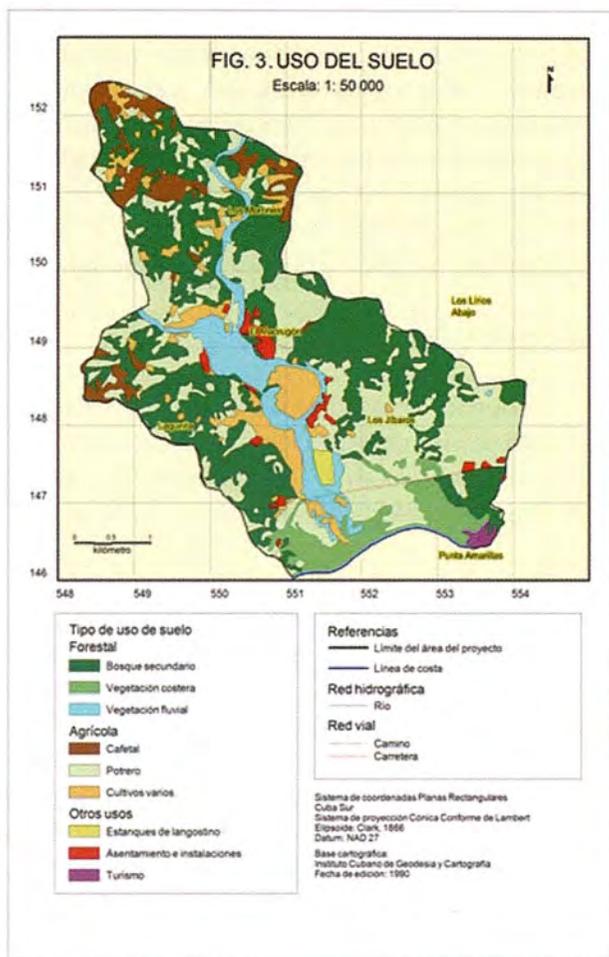
- Alturas premontañas: áreas diseccionadas con pendientes elevadas y con restos de superficies aplanadas con alturas máximas que oscilan entre 300 y 400 m.

- Valle aluvial: llanura erosivo - acumulativa, con terrazas fluviales y formaciones proluviales de carácter eventual con altura máxima de 60 metros.

- Llanura litoral: zona baja, con áreas de manglar, estero y cauces inundables en la zona litoral, con altura máxima de 5 metros.

Actualmente se trabaja con los ILSA en la conformación del ordenamiento ambiental de la zona seleccionada, para la propuesta de un reordenamiento

agro ecológico de las tierras de uso agrícola, como uno de escenarios de gestión definidos colectivamente. Se incorporan de igual forma los aspectos de vulnerabilidad y riesgos, contándose con los estudios para la zona, a los que se han incorporado nuevos elementos surgidos en el trabajo de campo e intercambio con los actores locales. Se identificaron las áreas de inundación y se hizo el inventario de las instalaciones que pueden resultar inundadas por la crecida del río y por pene-



traciones del mar, así como los impactos probables a los ecosistemas costeros.

Con respecto al empleo de las FRE, indicador de importancia para las propuestas de soluciones alternativas a numerosos problemas locales, se trabaja en su inventario, considerándose que la zona posee abundante potencial para el empleo de la biomasa, por la existencia de vaquerías en el área, además de los residuales de la actividad forestal y cafetalera. En cuanto a la hidroenergía, la zona cuenta con buen potencial, por la existencia de desniveles en diferentes sectores del cauce del río Sevilla que se mantiene gran parte del año con suficiente agua. En este sentido se considera útil combinar la solución de la producción energética con la de abasto de agua por gravedad, a partir de la reconstrucción del embalse existente a 60 metros de altura y a una distancia prudencial de los asentamientos. La energía solar es muy abundante en la zona, la que puede utilizarse no solo en el secado de granos, madera y la electrificación de casas aisladas, sino también en el calentamiento de agua del hotel Sierra Mar, que actualmente explota esta tecnología. Con respecto a la energía eólica se realizó una prospección preliminar del recurso, pero se requiere microlocalizar los sitios para la instalación de las máquinas eólicas a partir de estudios de factibilidad técnica, económica y social, para la transferencia a la zona de molinos de viento e incluso valorar la instalación de aerogeneradores de pequeña potencia.

Ya se cuenta con una propuesta de reordenamiento de la tierra, a partir de un mapa de aptitud del suelo (Fig.6), en la que se plantea el reordenamiento de un considerable número de terrenos que están en conflicto con su vocación real, existiendo la necesidad de llegar a acuerdos locales con los tenentes de la tierra para su utilización racional. Por ejemplo, el uso de los suelos en producciones de ciclo corto, en los valles aluviales que aún no se explotan a toda capacidad.

Actualmente se trabaja en el levantamiento de la tenencia de la tierra para proponer de manera particular y de forma consensuada los cambios del uso del suelo que se necesitan, apoyados en el convencimiento y el asesoramiento científico técnico. El escenario deseado es que los propios tenentes de la tierra sean capaces de reconocer la necesidad de cambio de usos, según la vocación real de los suelos, e incorporar nuevas técnicas y procedimientos para su conservación.

Consideraciones finales

La propuesta metodológica para el manejo integrado de la cuenca del río Sevilla permitió estable-

cer las prioridades de gestión dirigidas a la conservación ambiental, la introducción de nuevas y eficientes tecnologías para el tratamiento de residuales y el empleo integral de la FRE, así como la disminución de las amenazas que afectan el territorio, demostrando ser de gran efectividad para dar continuidad, de manera sostenible, a los planes de recuperación y desarrollo del territorio.

Referencias

Arredondo, M., Modelo Multiescalar como herramienta para la planificación ambiental en la región del Golfo de California. Tesis Doctoral. Universidad de Ensenada de Baja California. p.18. 2006.

Salinas, E. y Quintela, J., Paisajes y Ordenamiento Territorial: Obtención del mapa de Paisajes del Estado de Hidalgo en México a escala media con apoyo del SIG. Revista de Investigación del Bajo Segura, España Número: 7. 517-527, 2001.

Cicin, Biliiana; Knecht, Robert (Eds), Integrated Coastal and Ocean Management. Island Press. Washington DC. 3, 1998.

Olsen Stephen, y col., Hacia una metodología común de aprendizaje. Una guía para evaluar el progreso en el manejo costero. Centro de Recursos Costeros de la Universidad de Rhode Islan. RROARCA/COSTA. Ecuador, 1999. <http://www.Ecocostas.org/english/glosasryframe-set.htm> (10/7/ 2010).

Salabarría, Dalia y Brito, Lorenzo, Declaración de Zonas costeras bajo régimen de Manejo Integrado en Cuba. Memorias de la V Conferencia Internacional de Manejo Integrado de Zonas Costeras. Caricostas 2011. ISBN: 978-959.207-409-5. Santiago de Cuba, 2011.

Brito G., Lorenzo y Salabarría, Dalia, Implementación de Programas de Manejo Integrado Costero en la República de Cuba. Experiencias 2008 -2011. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental. VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. ISBN978-959300-018-5. 2011.

Planas F. Jose. A., Modelos y procedimientos participativos para el manejo integrado de la zona costera en el polo turístico Parque de Baconao, Ciencias de la Tierra y el Espacio., 2012, Vol. 13 No. 1, pp.40-57, ISSN 1729-3790. <http://www.iga.cu/Publicaciones/revista/index.html>

NORMAS PARA AUTORES

CONTENIDO

Mapping es una revista internacional en lengua española que publica artículos sobre Ciencias de la Tierra con un enfoque tanto investigativo como profesional. Mapping no es una revista especialista sino generalista donde se publican artículos de Topografía, Geodesia, SIG, Medio Ambiente, Teledetección, Cartografía, Catastro, Turismo y Ciencias de la Tierra en general. El amplio campo cubierto por esta publicación permite que en ella el lector, tanto científico como técnico, pueda encontrar los últimos trabajos publicados con las nuevas investigaciones y desarrollos en el campo de las Ciencias de la Tierra en la comunidad hispanohablante.

La revista Mapping invita a los autores de artículos en el campo de las Ciencias de la Tierra a la colaboración mediante el envío de manuscritos para su publicación, según las siguientes normas:

ESTILO

El artículo será enviado como documento de texto con las siguientes normas de estilo:

- La fuente será "Times New Roman" a tamaño 12.
- Interlineado a doble espacio.
- Sin espaciado adicional al final o al principio de los párrafos.
- Justificación en ambos laterales.
- Títulos de los diferentes apartados y subapartados del artículo ordenados de manera numérica, en mayúsculas y en negrita.
- Tamaño del papel DIN A4.
- Márgenes verticales y laterales de 2,5 cm.
- No se admiten encabezados ni pies de página.

LONGITUD

La longitud de los artículos no está establecida, recomendándose una extensión en torno a las 10 páginas para el texto con el estilo propuesto.

SISTEMAS DE UNIDADES

Salvo excepciones que serán evaluadas por el Comité Editorial el sistema de unidades será el Sistema Internacional.

FORMULAS MATEMÁTICAS

Las fórmulas matemáticas se incluirán en el cuerpo de texto en una línea aparte y con justificación centrada. Las fórmulas se numerarán correlativamente por su orden de aparición con su número entre paréntesis a la derecha.

TABLAS

Las tablas se incluirán en el artículo cada una de ellas en una hoja aparte a continuación del texto, numeradas en orden de aparición y con su leyenda. En el lugar del texto, en el cual deberán ser insertadas para la maquetación final se incluirá una línea con la palabra "tabla" y su número en, mayúsculas, con justificación centrada.

El diseño de las tablas será tal que permita su lectura con maquetación a una columna (8 cm de ancho) y excepcionalmente a 2 columnas (16 cm de ancho).

En ningún caso se admitirán tablas en formato apaisado.

FIGURAS

Las figuras se incluirán en el artículo cada una de ellas en una hoja aparte a continuación de las tablas, numeradas en orden de aparición y con su leyenda. En el lugar del texto, en el cual deberán ser insertadas para la maquetación final y se incluirá una línea con la palabra "figura" y su

número en mayúsculas, con justificación centrada. El diseño de las figuras será tal que permita su visibilidad con maquetación a una columna (8 cm de ancho) y excepcionalmente a 2 columnas (16 cm de ancho). Se admiten figuras en blanco y negro y color.

REFERENCIAS

En el cuerpo del texto del artículo las referencias se citarán por el apellido del autor y el año de publicación separados por una coma y entre paréntesis. Las referencias se incluirán al final del texto como un apartado más del mismo y se documentarán de acuerdo al estándar cuyo modelo se incluye a continuación:

LIBROS

Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título. Edición . Editorial, ciudad de publicación. Número de páginas pp.

REVISTAS

Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título del artículo. Revista, número (volumen), pp: pagina de inicio-pagina final.

DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título del documento. Enlace de Internet.

En todos los casos se incluirán tantos autores como figuren en las referencias.

No se admitirán artículos sin referencias.

FORMATO DEL MANUSCRITO

El documento que será enviado al comité editorial en el siguiente formato:

HOJA DE PORTADA

En la hoja de portada se incluirán los siguientes datos

TÍTULO

El título del artículo deberá tener menos de 15 palabras y estar escrito en español e inglés.

AUTORES Y FILIACIÓN

A continuación del título se incluirán los autores en el orden de aparición, sus datos de filiación y contactos en el siguiente formato:

Apellido, nombre.

Institución o empresa. Teléfono.

Correo electrónico. País

ARTÍCULO

El artículo estará formado por el cuerpo del texto, las tablas y figuras. **Irà precedido de su título en mayúsculas, un resumen de 100-200 palabras y palabras claves, todo ello en español e inglés.** El artículo comenzará en una hoja aparte y no contendrá ningún dato de los autores para la revisión anónima del mismo. La estructuración de los artículos es decisión de los autores pero se recomienda la estructura habitual en los artículos en publicaciones científicas.

ENVIO DE LOS MANUSCRITOS

Los manuscritos serán enviados en formato digital, preferentemente PDF o WORD a la dirección de correo electrónicos manuscritos@mappinginteractivo.com

Dos costas, un solo mundo. Huelva, el almirante Don Cristobal Colón y el Caribe

Fernando Barranco Molina

Ingeniero Técnico en Topografía. Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería de Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva. Miembro de la Real Sociedad Colombina Onubense. España

El descubrimiento de América es calificado según se mire y según quien lo escriba, como el acontecimiento más importante de la historia de la humanidad, una maravilla, o como un hecho desdichado, miserable y moralmente discutible. No voy a entrar a cuestionar este suceso, pero sí a ligar a la ciudad de Huelva en la orilla Este del Océano Atlántico, con la orilla Oeste de este Océano allá en el Caribe.

Cuando he coincidido con sudamericanos o centroamericanos, a veces me sorprende que muchos de ellos no han oído nunca hablar de Huelva y sin embargo, sí de Palos de la Frontera y de La Rábida.

Huelva es la capital de la provincia que lleva su nombre desde hace aproximadamente 175 años, pero en el año 1.492 pertenecía al reino de Sevilla, en la actualidad los lugares antes citados pertenecen a Huelva y muchos de los marineros que viajaron junto a Cristóbal Colón, Martín Alonso Pinzón y Vicente Yáñez Pinzón en el viaje del descubrimiento eran de Huelva y su entorno, por tanto voy a tratar de contar brevemente como es Huelva y su vinculación con el acontecimiento histórico más importante de la historia de la humanidad.

Huelva, llamada "ONUBAAESTUARIA" en época romana y "WELBA" en época árabe, conserva en su subsuelo múltiples restos de ambos periodos, pero no solo eso sino que aún esta por demostrar que la actual Huelva no está encima de la celebre TARTESSOS.

La ciudad esta situada entre dos ríos, el Tinto y el Odiel, que se unen para desembocar juntos formando un precioso estuario en el Océano Atlántico, dejando a un lado la Isla de Saltes, que albergó una ciudad islámica que fue Reino de Taifa.

En la provincia existen desde la antigüedad unas minas de cobre muy ricas y apreciadas que hizo que sus rías fuesen muy transitadas por embarca-

ciones de todo el mundo, no en balde el Museo Provincial tiene en sus vitrinas gran variedad de piezas obtenidas en el fondo de sus lechos, tales como espadas de combate y casco griego. Huelva siempre fue un gran puerto comercial, desde épocas muy antiguas y mucho más en este siglo XV.

En la época de los descubrimientos, los marinos de Huelva eran muy prestigiosos y estaban muy bien considerados, la pesca y su comercio tenía mucha importancia, por ejemplo: los hermanos Pinzón trasladaban barcos llenos de sardinas a Italia. Pero aquellos marinos no se conformaban con hacer pequeños viajes, siempre estaban buscando nuevos caladeros y nueva rutas, Alonso Sánchez de Huelva fue el predescubridor de América y fue el que facilitó muchos datos y cartas náuticas de vital importancia al Almirante durante los preparativos del gran viaje. Por todo ello, la gran mayoría de los que acompañaron a Colón y fueron protagonistas de ese episodio tan notable fueron en su mayoría marineros y hombres de mar onubenses. Pero hombres de nuestra provincia no solo acompañaron a Cristóbal Colón, en el descubrimiento de América, también lo hicieron posteriormente con Hernán Cortés en la Conquista de México y con muchos otros descubridores españoles y portugueses como Vasco de Gama, Pizarro, Vasco Núñez de Balboa. Magallanes ó Juan Sebastián Elcano.

Voy a citar solo a algunos de estos marinos onubenses que fueron además piezas claves en la gesta descubridora, Juan Díaz Solís, de Lepe, Gonzalo Guerrero de Niebla que se casó con una mujer maya hija de un importante cacique, el "Señor de Chactemal" en la península de Yucatán y que con el paso del tiempo ya tenía la nariz y las orejas horadadas y las manos y cara tatuadas como si de un indio más se tratase, La figura de Guerrero es muy admirada en México ya que es considerado como el "padre del mestizaje", incluso tiene una gran escultura en el Paseo Montejo de Akumal, uno de los lugares más visitados del Caribe. No menos importantes fueron Alfonso Peñate de Gibraleón, junto a Huelva, Gonzalo de la Um-



bría muy cerca también de Huelva quien tuvo grandes diferencias con Hernán Cortés, Francisco de Huelva, Francisco Medel, Juan de Umbría, Juan Reynal... y algunos más también viajaron con Colón y eran naturales de esta tierra.

En su ir y venir con los preparativos de la travesía, el Almirante Don Cristóbal Colón, no solo recorrió Moguer, Palos de la Frontera y La Rábida, Córdoba, Barcelona, Granada o Portugal, sino que también estuvo en lo que hoy es la Huelva capital y fue precisamente a visitar el Santuario de la Virgen de la Cinta muy venerada por los marineros y de gran devoción entre toda la tripulación onubense que le acompañaba. Tanta devoción inspiraba esta Virgen que Colón se encomendó a ella cuando en el regreso del primero de sus viajes una gran tempestad cerca de las Islas Azores, les hizo temer lo peor. El Almirante cumplió con su promesa y al llegar a Huelva subió hasta el Conquero, lugar más alto de la zona donde se encuentra la Virgen y se arrodilló ante la patrona de Huelva que le había dado protección. En el resumen del diario de Colón que hace Fray Bartolomé de las Casas, describe estos momentos de gran peligro.

Bien es verdad que los nombres de las poblaciones que más suenan en América son Palos de la Frontera, La Rábida y Moguer por ser los más importantes de los llamados "lugares colombinos" pero es que esos núcleos pertenecen a la provincia de Huelva y en la capital, Huelva, también estuvo Colón en su visita a la Ermita de Nuestra Señora de la Cinta como hemos expuesto, además de haber visitado la ciudad con anterioridad a la par-

tida ya que en Huelva vivían familiares de su esposa la portuguesa Felipa Muniz y su marido, que más tarde también navegaría con Colón. En esta casa de Huelva fue donde dejó a su hijo al cargo de su cuñada durante sus largos viajes.

Moguer además tiene el valor añadido de ser el lugar donde nació nuestro poeta universal Juan Ramón Jiménez que pasó muchos años de su vida viviendo en el Caribe donde fue muy conocido y querido y donde obtuvo el Premio Nobel de Literatura.

Con estas letras he cumplido con el deseo de mi gran amigo desde la época estudiantil en la Universidad Politécnica de Madrid, quien me había pedido que escribiese sobre la vinculación de Huelva y Caribe para su revista. Naturalmente ha constituido para mí un auténtico placer colaborar nuevamente con Ignacio Nadal y la revista Mapping.

Bibliografía

LA CONQUISTA DE MÉXICO – Hugo Thomas. Editorial Planeta 1.994

LOS LUGARES COLOMBINOS Y SU ENTORNO – Fundación Ramón Areces, 1.992

DIARIO DE A BORDO – Fray Bartolomé de las Casas. Ediciones Cultura Hispánica, 1.972

RECÓNDITA HUELVA – Fernando Barranco Molina. Caja Rural de Huelva, 1.998

EL CARTOGRAFO DE LA REINA, MEMORIAS DE JUAN DE LA COSA. Javier Tazón Ruescas- Editorial Kattigara, 2.010

VIDA DEL ALMIRANTE DON CRISTÓBAL COLÓN, Washington Irving – Ediciones Istmo, 1.990

LOS PUEBLOS DE HUELVA Y AMÉRICA. Pablo Tornero Tinajero – Aldaba ediciones, 1.990

Perspectivas de los análisis espacial en la gestión del agua en aguas de La Habana

Perspectives of spatial analysis in the management of water in Aguas de La Habana

Yoany Sánchez Cruz

Empresa de acueducto y alcantarillado Aguas de La Habana.

Dirección técnica; subdirección de sistemas de planeación, departamento GIS.

La Habana. Cuba

Resumen

El análisis espacial en los SIG comprende un conjunto de procedimientos utilizados para abordar el estudio de la estructura y de las relaciones territoriales a partir del conocimiento de la posición y de las características de las entidades geográficas de las variables involucradas.

En muchas ocasiones se confunden las tareas de búsqueda y consulta SIG con la de análisis, lo cual conlleva a la subutilización de este procedimiento que en los últimos años ha tomado gran fuerza en el mundo, fundamentalmente para el diseño, la administración y la planeación.

Aguas de La Habana emplea los SIG para su labor de gestión del agua y aunque ha logrado acumular experiencia en este sentido, el mayor uso que los usuarios dan al sistema es el de búsqueda y consulta con una salida cartográfica. Esta problemática ha llevado al personal técnico del Departamento Gis a especializarse en la utilización de las potencialidades que brinda en su totalidad este medio para abrir y desarrollar el trabajo propio de la gestión del agua urbana mediante entidades geográficas espacialmente ubicadas. Se propone para ello una serie de resultados que se pueden obtener mediante los Análisis Espaciales y que se hacen extensivos a todas las Empresas gestoras de agua.

Palabras claves: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Análisis Espacial, Gestión del agua urbana.

Summary

Spatial analysis in GIS comprises a group of procedures used to tackle the study of the structure and of the territorial relationships from the knowledge about the position and the characteristics of the geographical entities of the variables involved.

Many times, the GIS search and consult tasks are confused with those of analysis, which results in the inappropriate usage of this procedure, which in the last few years has become very strong, mainly for design, management, and planning.

Aguas de la Habana uses GIS in its work of water management, and though it has been able to gather a lot of experience in this sense, the greater use users make of the system, is that of search and consult for cartographical purposes. This has made the technical staff of the GIS Department to become specialists in using the potentials it gives, as a whole, to open and develop the work related to urban water management through geographical entities which are spatially located. For this reason, the proposal here is a range of results that can be obtained by means of Spatial Analysis, and that can be extensive to all Companies that are water managers.

Key words: Geographic Information Systems (GIS), Spatial Analysis, Urban water management

Introducción

En la Empresa Aguas de La Habana se utiliza la tecnología SIG para la administración de los recur-

Los recursos hídricos, fundamentalmente en las áreas técnicas. Se ha generalizado por parte del personal capacitado la idea de que los mismos ofrecen solamente la posibilidad de realizar consultas y su gran capacidad para la toma de decisiones se ve minorizada al punto de no utilizarse. Muchas son las potencialidades en cuanto a análisis espacial que un SIG puede brindar y que hoy en día no son aprovechadas por la principal empresa gestora de agua en Ciudad de la Habana.

Las causas fundamentales de la poca explotación del sistema, en este sentido, están fundamentalmente en el desconocimiento de las potencialidades y la resistencia, en muchas ocasiones, al cambio en el modo de pensar y de resolver un determinado problema. Lo cierto es que cada herramienta de análisis que se incorpore para tomar una decisión siempre será poca y al final el resultado será mucho más completo.

Con el fin de insertar en la tarea del manejo integral de los recursos hídricos las funciones de análisis espacial mediante SIG, se realiza esta investigación dando un recorrido general por las potencialidades, y particularizando en algunas posibilidades concretas mediante ejemplos aplicados a la actividad de acueducto.

Análisis espacial en los SIG

El análisis espacial es una rama de la investigación cuyo desarrollo es relativamente reciente. Se apoya en los métodos estadísticos y los modelos matemáticos, aunque también utiliza los mapas y la simulación integrando también los resultados de encuestas sobre los comportamientos en el espacio y sus representaciones. Es empleado por muchas otras disciplinas además de la geografía: en economía espacial (o ciencia regional), historia, agronomía, arqueología, ciencias del medio ambiente, etc. (<http://www.hypergeo.eu/spip.php?article265>)

Comprende un conjunto de procedimientos utilizados para abordar el estudio de la estructura y de las relaciones territoriales a partir del conocimiento de la posición y las características de las entidades geográficas de las variables involucradas.

La principal función de un SIG es la de identificar y analizar las relaciones espaciales entre las características de uno o más fenómenos proporcionando la posibilidad de crear nuevas relaciones al

analizar los datos descriptivos de uno o más archivos.

En muchas ocasiones se confunde la tarea búsqueda y consulta SIG con la de análisis, lo cual conlleva a la subutilización de esta potente herramienta que en los últimos años ha tomado gran fuerza en el mundo no solo del diseño, la administración y los planes de planeamiento, sino también en el del transporte y el comercio.

Las operaciones de Análisis Espacial son cada vez más efectivas a la hora de tomar decisiones en cualquiera de las ramas del desarrollo, entre las ventajas que brindan están (Bosque Sendra, J, 2000):

1. Cálculo de distancias.
2. Cálculo de magnitudes geométricas.
3. Conversión de una figura geométrica a otra.
4. Análisis Espacial en mapas individuales de puntos, líneas o polígonos.
5. Generación de áreas de influencia.
6. Reclasificación y Superposición de mapas.
7. Análisis sobre la vecindad (superficie de densidad, análisis de proximidad, filtrado de mapas, etc.).
8. Análisis sobre Modelos Digitales de Elevación (M.D.E).

Los métodos utilizados para el análisis espacial son muy diversos. El empleo de la estadística clásica conduce a olvidar, en un primer momento, la localización de los objetos y por ende, sus efectos espaciales. Por el contrario, los métodos de la geostatística y de la morfología matemática, analizan directamente las informaciones geocodificadas.

Una atención particular merece la definición de la escala geográfica considerada. Las teorías de la auto-organización han subrayado el interés por observar las interacciones que se producen en un nivel de organización de los sistemas para comprender la dinámica de los mismos en un nivel de clasificación superior.

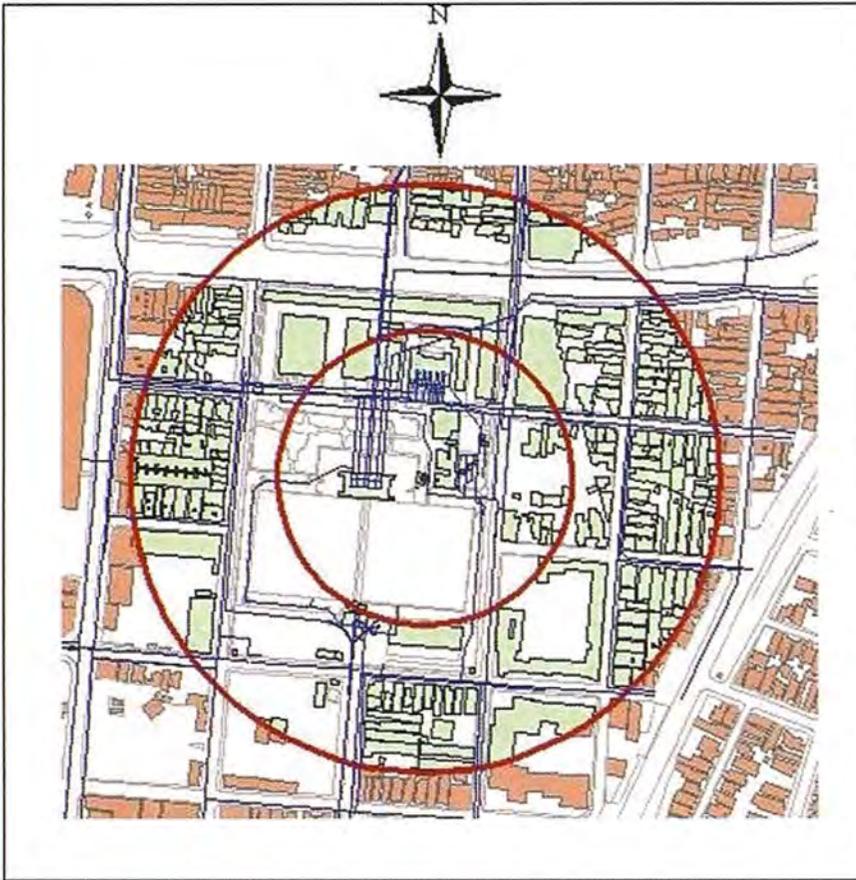


Figura 1. Infraestructura afectada por un posible escape de gas cloro en la planta de cloración de Palatino

Se propone entonces el uso de herramientas de análisis espacial brindadas por los SIG en la tarea de gestión del agua urbana para la toma de múltiples decisiones técnicas. Una vez que se dominan los términos teóricos del análisis, sólo basta con tener un problema perfectamente delimitado para que en pocos minutos se obtenga un resultado que ayude a pensar con experiencia en una mejor solución. Los pasos para realizar los análisis espaciales pudieran identificarse mediante 4 puntos:

1. Plantearse bien el problema a analizar.
2. Tener bien delimitada la información de partida.
3. Identificar las operaciones de análisis a utilizar.
4. Buscar las operaciones en el

Algunas aplicaciones del análisis espacial para la empresa de Acueducto aguas de La Habana

Es muy importante para una Empresa de Acueducto brindar un servicio con eficacia tratando de que el abasto sea continuo y con calidad. Aguas de La Habana no ha sido la excepción en este sentido aunque aún persiste un gran número de dificultades. La inmediatez con la que se requiere sea tomada una medida en muchas ocasiones omite el paso del análisis mediante las nuevas tecnologías, y la solución aparece generalmente asociada a la experiencia acumulada en el tema sumada al análisis de un equipo de expertos.

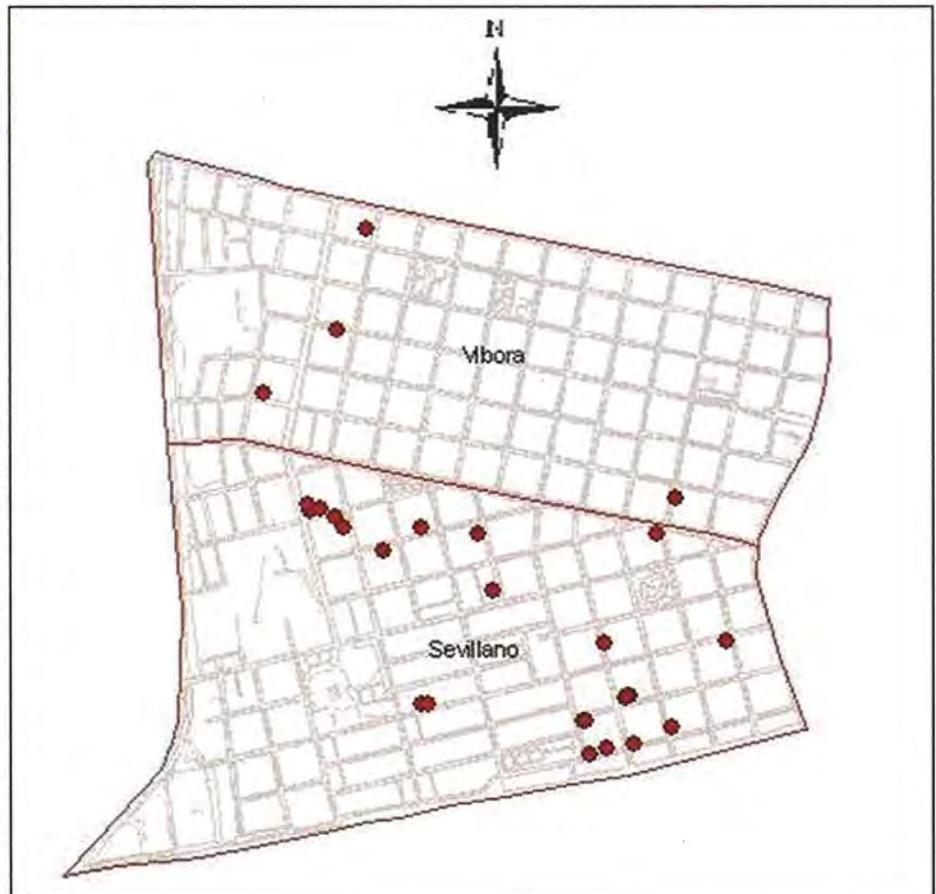


Figura 2. Contaminaciones en dos Consejos Populares del Municipio 10 de Octubre

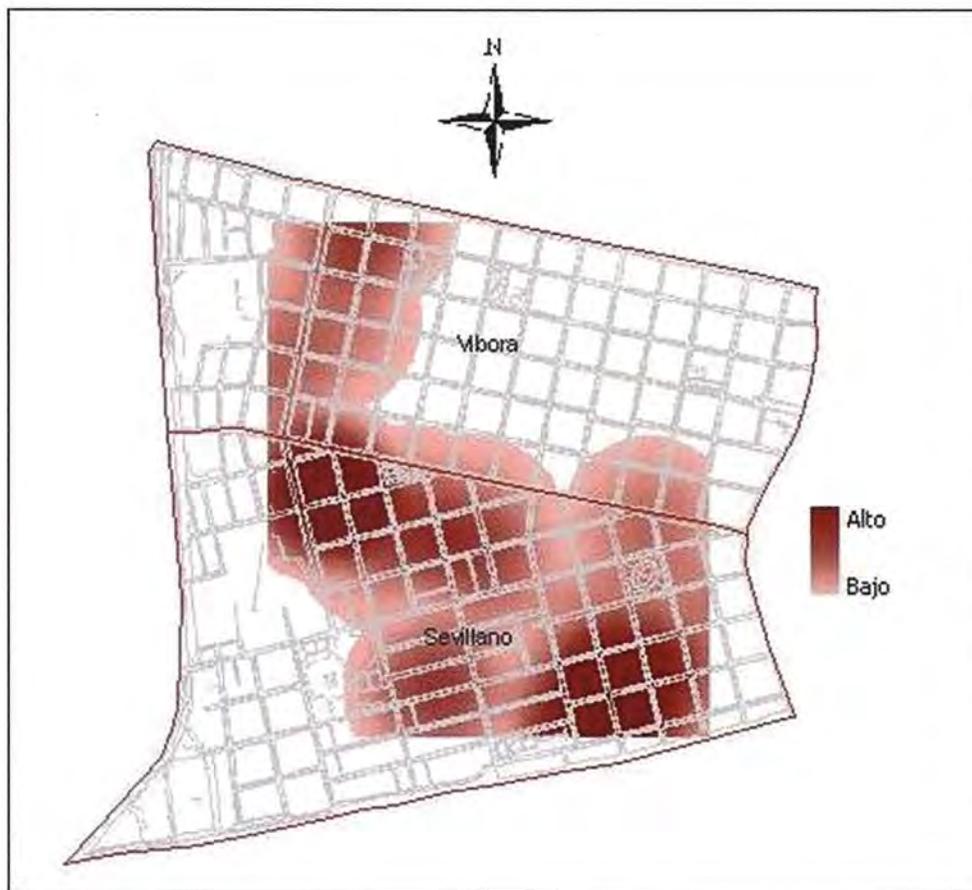


Figura 3. Densidad de contaminaciones en dos Consejos Populares del Municipio 10 de Octubre

Diversas son las acciones que se toman para minimizar los daños que pudieran ser ocasionados por tal incidente. Es de vital importancia entonces enmarcar el área afectada por un posible escape. Para que esto quede recogido en el SIG y poder trazar planes de evacuación, es que se analizan las instituciones que pudieran verse afectadas por el accidente.

Aunque el área afectada depende, entre otras cosas, de factores meteorológicos (velocidad y dirección del viento), se toma un primer radio de 100 m y un segundo radio de 200 m desde el punto

SIG del que se disponga (ArcView, ArcGis, MapInfo, Idrisi, Ilwis, GvSig, etc).

de origen, quedando enmarcadas dentro de las cir-

5. Interpretar los resultados.

Se exponen algunas de las experiencias en el uso del análisis espacial en Aguas de La Habana.

Cálculo del área de influencia

El principal nudo de distribución de agua a la Ciudad de La Habana se encuentra en el corazón del Municipio Cerro. Aunque hoy en día, ya se están proyectando acciones para proteger a la población ante un escape de cloro mediante la concepción de una Torre de Absorción, el peligro es inminente.

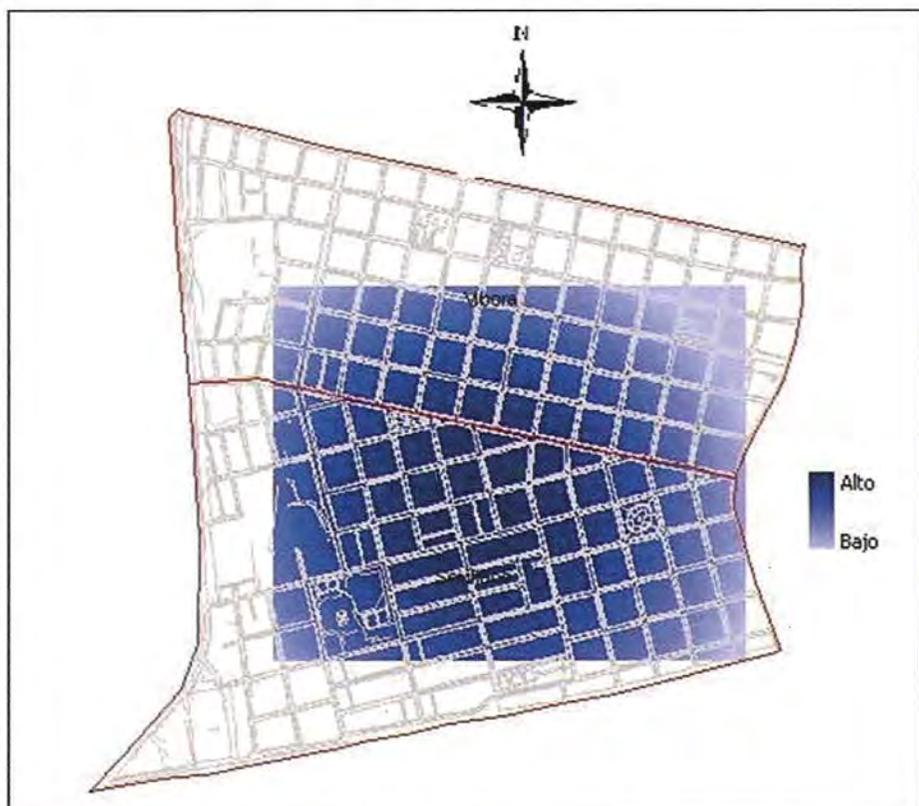


Figura 4. Mapa de densidades de Falta de Agua en dos Consejos Populares del Municipio 10 de Octubre

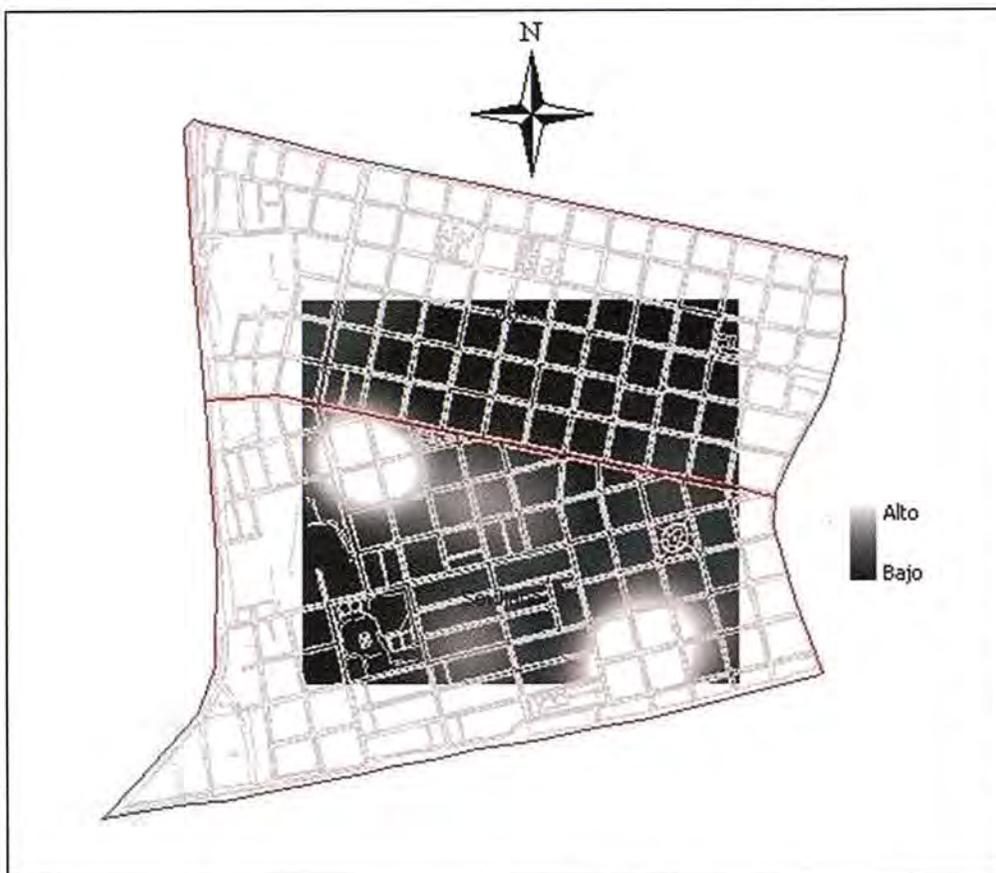


Figura 5. Suma de Contaminaciones y falta de Agua en dos Consejos Populares del Municipio 10 de Octubre

conferencias, las posibles afectaciones (Figura 1). Es de vital importancia identificar en las edificaciones afectadas, las escuelas e instituciones de salud que pudieran verse perjudicadas para su prioridad en planes de evacuación.

Análisis de densidad

Ciudad de La Habana cuenta con redes de acueducto de más de 100 años de explotación, sobre todo en los municipios del centro en los cuales, a pesar de las tareas de rehabilitación, aún quedan muchas acciones por tomar. El Laboratorio de Agua Potable de la Empresa Aguas de La Habana controla las contaminaciones que se producen en la red por explosiones de las tuberías. Resulta trabajoso poder interpretar un mapa con una densidad de puntos extraordinaria que se pierde a la vista y distorsione cualquier decisión que se pueda tomar. La Figura 2 muestra un ejemplo en dos Consejos Populares del Municipio 10 de Octubre. La interpretación sería mucho más sencilla si se hace a través de un mapa de densidad (Figura 3) debido a las características de Análisis que brinda esta posibilidad y la amplia gama de superposiciones que se pueden hacer con otros elementos. La

Figura muestra el resultado de la densidad de contaminaciones. Se puede notar en las áreas de color oscuro, la mayor concentración.

Análisis de superposición de mapas

La Superposición nos brinda la posibilidad de relacionar más de un fenómeno y poder definir, entre otras cosas, áreas en común y tendencias. En el caso del epígrafe 4.2, tenemos de forma georeferenciada la ocurrencia de contaminaciones mediante una archivo ráster. Esta información por sí sola, sólo establece un área de

concentraciones; el poder relacionarla con otros factores lleva a tomar conclusiones importantes. Al igual que las contaminaciones, la Empresa, mediante su Centro de Incidencias, recoge las quejas de Falta de Agua y les da seguimiento con carácter priorizado. Se propone entonces relacionar ambos temas para poder sacar algún tipo de conclusión espacial. La Figura 4 muestra el raster de densidades de falta de agua en los mismos Consejos Populares antes tratados. Las áreas de color oscuro son las de mayor concentración.

Se hace una suma entre el mapa de contaminaciones y el de falta de agua obteniéndose el resultado en la Figura 5.

Observando entonces la Figura 6 comienzan las preguntas a jugar su papel.

1. ¿Tienen que ver las contaminaciones con la falta de Agua?
2. ¿Por qué hay áreas en común?
3. ¿Hace falta una rehabilitación de redes urgente, o es otra medida la que se impone?

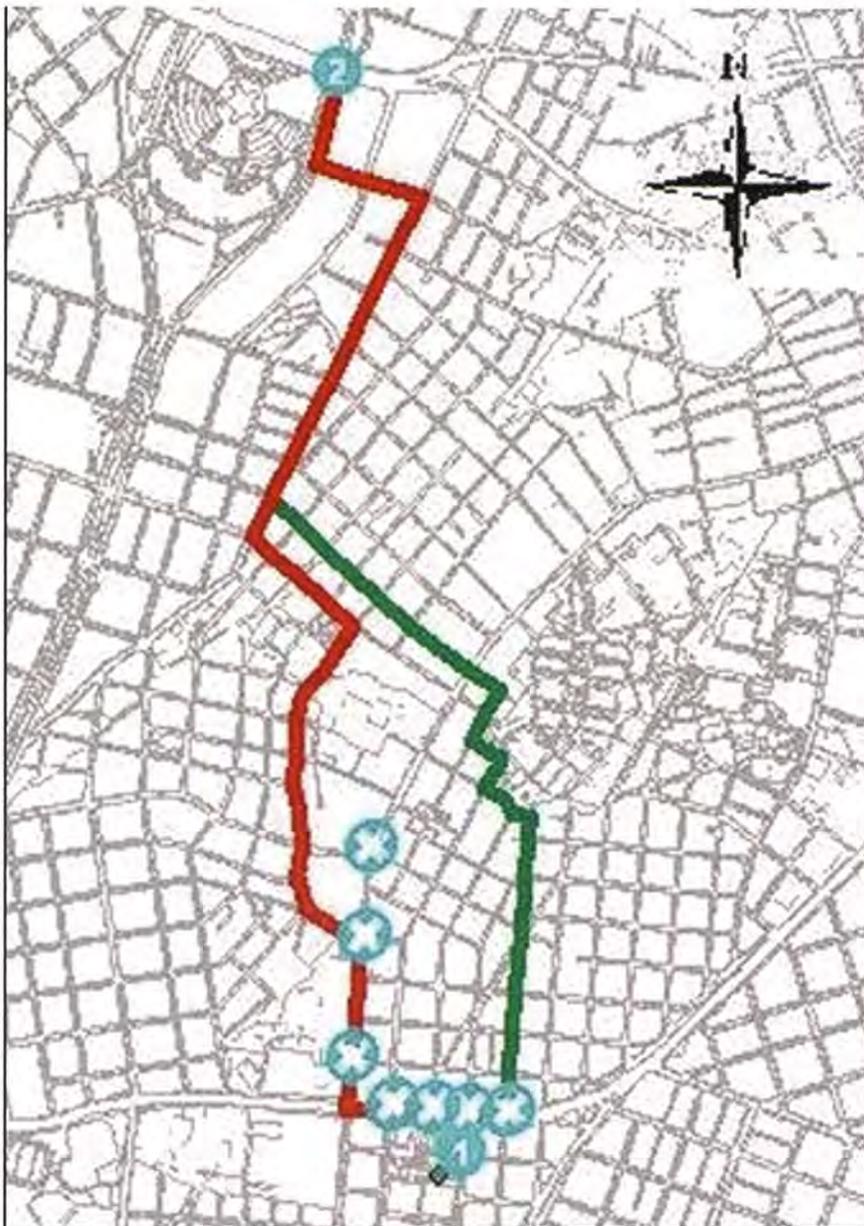


Figura 6. Rutas óptimas. Verde: Ruta a tener en cuenta ante la existencia de calles con restricción en la circulación, Roja: Calles con restricciones en la circulación (Cruces)

Antes de responder estas preguntas debe quedar claro que no interviene otro factor en el análisis, en este caso, el tipo de servicio, la edad de la tubería, la manipulación de válvulas, entre otras cuestiones, debieran estar incluidas en el análisis. Valorado todo esto, se pueden establecer entonces planes de manejo y comenzar las acciones.

Análisis de distancias y rutas óptimas

Cuando la sequía obliga a regular presiones y horarios, es necesario establecer un orden de abasto mediante carros cisternas (pipas de agua), aunque estas opciones también son utilizadas en casos de eventos meteorológicos extremos. Las rutas óptimas pueden ser objeto de análisis para estos problemas, sobre todo cuando se tiene en

cuenta que el abasto de agua por pipas conlleva a un sustancial gasto de combustible.

Se tiene como objetivo transportar mediante carros cisternas un determinado número de metros cúbicos desde la estación central de Palatino hasta la intersección de Paseo y Av. Independencia. Se debe encontrar la ruta óptima con vistas a ahorrar combustible.

El puesto de mando establece, en un inicio, que no hay restricciones en la circulación vial, pero pasadas unas horas de haberse enviado los primeros carros, informan que hay restricciones en algunas calles que hacen que se demore la circulación de los mismos. Se da la solución para ambos casos en la Figura 6 obteniéndose las rutas óptimas por concepto de distancias.

Automatización de análisis espaciales

Los Análisis Espaciales pueden ser concebidos para resolver un problema en una determinada ocasión, aunque en algunos casos el proceso se convierte en algo repetitivo y

conviene entonces automatizar el asunto; la construcción de Modelos de Análisis cobra entonces singular importancia. En Aguas de La Habana ya se cuenta con dos aplicaciones que persiguen el objetivo de parametrizar un proceso que se repite en determinadas ocasiones para fines específicos. Los conceptos y herramientas de análisis son los mismos que anteriormente se explicaron, solo se suman a ellos articulaciones que conectan los archivos de entrada con las herramientas de geoprocésamiento y análisis dando como resultado los archivos de salida correspondientes.

La primera de las aplicaciones es el SectorModel, herramienta que integra toda la información alfanumérica y gráfica, tanto cartográfica como de los

elementos hidráulicos, para el análisis y la toma de decisiones técnicas mediante una consulta SQL a uno de los atributos de cualquiera de los temas implicados en los Sectores Hidráulicos concebidos por el Departamento de Sectorización y Modelos de la Subdirección de Sistemas de Planeación (Sánchez Cruz, Y., 2010).

La segunda aplicación creada bajo este algoritmo es Nudos-Red, la cual permite la asignación de cotas topográficas y consumos a los nudos de red auxiliándose de métodos de geoprocésamiento y permitiendo al especialista de proyectos acelerar todo el proceso de preparación de los datos de inicio, evitando de esta forma engorrosas tareas manuales muchas veces mecánicas y repetitivas por los métodos actuales (González, A. Y., 2011).

Conclusiones

En la actividad de Acueducto no existe experiencia en el uso de Análisis Espaciales, por lo que su implementación debe estar marcada por una profundización en cada una de las áreas donde debiera de ser utilizado para el mejor manejo de los recursos hídricos.

Mediante las herramientas del Análisis Espacial vinculadas a la gestión del agua urbana, se puede crear, preguntar, mapear y analizar píxeles basados en datos del tipo ráster. La mezcla que se

logra, ráster/vector, proporciona un análisis integrado de los fenómenos. El álgebra de mapas que se alcanza es de vital importancia para la interpretación de datos y de fenómenos georeferenciados. La posibilidad de consultar información a través de capas de datos múltiples es otra de las ventajas del Análisis Espacial al integrar completamente datos ráster con fuentes de datos tradicionales del tipo vector.

Bibliografía

(<http://www.hypergeo.eu/spip.php?article265>)
(Consultado el 14 de abril del 2010).

Bosque Sendra, Joaquín: Sistemas de Información Geográfica (Segunda Edición, 2000), Ediciones RIALP, S.A.

González A. Y.: Nudos-Red, una herramienta SIG para el diseño de redes de distribución de agua, Departamento de Proyecto y Planeamiento, Empresa Aguas de La Habana, 2011.

Sánchez Y. Sectormodel, herramienta SIG desarrollada para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado Aguas De La Habana, Mapping Interactivo, Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. ISSN 1131-9100 Nro 143, 2010; pp 83-85
<http://www.mappinginteractivo.com>

BOLETIN DE SUSCRIPCIÓN MAPPING

Deseo suscribirme a la revista MAPPING por 1 año al precio de 120 euros para España
Forma de pago: Talón nominativo o transferencia a nombre de REVISTA MAPPING, S.L.
CAJA MADRID: Pº. de las Delicias, 82 - 28045 MADRID Nº 2038-1732-55-3001376203
Enviar a: REVISTA MAPPING, S.L. - C/ Hileras, 4, 2º, Of. 2 - 28013 MADRID.

Nombre NIF ó CIF
Empresa Cargo
Dirección Teléfono

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

cartografía digital



www.cnig.es



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN1000, 500, 200, 25),
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT1000, 200, 25),
LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,
ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA, CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.

CENTRO DE DESCARGAS DE DATOS,
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

Oficina central y comercialización:
General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 91 553 29 13
e-mail: consulta@cnig.es