



Universitat de Barcelona
Facultat de Química
Departament de Química Analítica

Institut d'Investigacions Químiques i
Ambientals de Barcelona IIQAB-CSIC
Departament de Química Ambiental

Vigilància ambiental de metil *tert*- butil èter (MTBE), un additiu de la gasolina, en aigües i sòls

Mònica Rosell i Linares

Juliol 2006

Programa de Doctorat
“Química Analítica del Medi Ambient i la Pol·lució”
Bienni: 2001/2003
Facultat de Química
Departament de Química Analítica
Universitat de Barcelona

Memòria presentada per optar al grau
de Doctor per la Universitat de Barcelona
per a
Mònica Rosell i Linares

Tutor:

Director:

Co-director

Dr. Fco. Javier Santos Vicente
Professor Titular
de la Facultat de Química
de la Universitat de Barcelona

Dr. Damià Barceló i Cullerés
Professor d'Investigació
del Departament de Química
Ambiental del IIQAB-CSIC

Dra. Sílvia Lacorte i Bruguera
Investigador Científic
del Departament de Química
Ambiental del IIQAB-CSIC

Barcelona, Juliol 2006

“El que un país anomena els seus interessos econòmics vitals no són aquelles coses que permeten viure els seus ciutadans, sinó aquelles coses que el fan anar a la guerra. La gasolina és més probable que el blat per a ser la causa d’un conflicte internacional.”

Simone Weil (1909–1943)

Filòsof francès

RESUM

En els últims anys, s'ha observat una preocupació creixent pels efectes que les emissions de gasos procedents de la gasolina poden provocar tant a nivell ambiental com en la salut de les persones i això s'ha vist reflectit en canvis substancials en la seva composició. La prohibició dels additius plomats, així com la limitació contínua dels compostos aromàtics (sobretot del benzè) han donat lloc a una expansió espectacular arreu del món de l'ús dels additius oxigenats a la gasolina. D'entre aquests additius (principalment èters i alcohols) el més emprat ha estat el metil terciari (*tert*-) butil èter (MTBE). Però degut a les seves propietats físico-químiques, aquest compost orgànic volàtil (VOC) ha esdevingut un important contaminant de les aigües subterrànies d'arreu del món.

La present tesi doctoral ofereix una visió general i actualitzada de la problemàtica ambiental lligada a la utilització del MTBE com additiu de la gasolina, alhora que desenvolupa tècniques analítiques mitjançant un sistema totalment automatitzat de Purga i Trampa (també anomenat Purga i Captura) unit a un Cromatògraf de Gasos acoblat a un Espectròmetre de Masses (P&T-GC/MS) que permeten conèixer quantitativament i amb precisió la presència a nivells traça del MTBE, els seus principals compostos de degradació, altres additius convencionals com són els hidrocarburs aromàtics (benzè, toluè, etilbenzè i xilens, BTEX), així com els seus possibles substituïts (etil *tert*-butil èter, ETBE; *tert*-amil metil èter, TAME; i diisopropil èter, DIPE) i altres VOCs d'interès (diciclopentadiè, DCPD i tricloretilè, TCE) als diferents compartiments ambientals (diferents matrius aquoses i sòls), posant un especial èmfasi en l'anàlisi de les aigües subterrànies, més susceptibles d'una elevada contaminació i la qualitat de les quals és de vital importància ja que actuen com a magatzems d'aigua dolça pel consum humà.

A més, en tant que l'avaluació de la biodegradació *in situ* del MTBE en llocs contaminats requereix de molt més que simples balanços de massa i la mera presència del TBA no és suficient com per provar-ne la relació causa-efecte. S'han realitzat estudis de degradació del MTBE i ETBE mitjançant la utilització de diferents soques bacterianes amb capacitat per alimentar-se d'aquests additius de la gasolina en condicions aeròbiques (microcosmos) per tal d'analitzar-ne els isòtops estables tant del carboni com l'hidrogen (CSIA) obtenint diferents factors de fraccionament isotòpic. Els resultats obtinguts posen en dubte l'existència d'un únic mecanisme de degradació metabòlica en condicions d'aerobiosis (com es creia fins ara) i dificulten la seva aplicació com a indicadors quantitius dels processos de biodegradació que tenen lloc als llocs contaminats si no es realitzen altre tipus de mesures addicionals.

AGRAÏMENTS

En primer lloc, agrair als que han fet possible la realització d'aquest treball d'investigació, als meus directors, Dra. Sílvia Lacorte i Dr. Damià Barceló del Departament de Química Ambiental del IIQAB-CSIC, perquè van confiar en mi i em van donar la possibilitat de madurar científicament i assolir responsabilitats amb la participació en projectes i conferències internacionals. Pel temps dedicat i els seus consells a la hora d'encaminar la meva carrera científica. Agraïco al Dr. Frco. Javier Santos per acceptar ser el ponent de la present tesi doctoral.

I would like to sincerely say "Vielen Dank" to Dr. Hans Hermann Richnow and his nice group in the Department of Isotope Biogeochemistry, UFZ- Centre of Environmental Research Leipzig-Halle, Leipzig (Germany) for their warm reception and provided me with the necessary training and maturity not only from the scientific point of view but also from personal perspectives. I also thanks him for offering an AXIOM-Marie Curie Host Fellowships For Early Stage Training (EST, contract MEST-CT-2004-8332) to me.

Continuant amb el finançament, agraeixo al Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya, el seu suport econòmic a través de la beca predoctoral per a la formació d'investigadors (expedient 2005FIR 00348) i la beca per a estades per a la recerca fora de Catalunya (2005 BE 00008).

En el (mai senzill) món dels tràmits burocràtics, vull fer una menció especial a la tasca de Manoli Mora, secretaria acadèmica de la Facultat de Química, sense la qual aquest treball segurament no es podria haver presentat. Només ella sap tots els obstacles que em hagut de salvar fins arribar a la meta, gràcies de nou.

A tots els que més tard o més d'hora han creuat les portes del nostre grup de Química Ambiental i han compartit en amor i companya el petit espai del nostre particular "camarote de los hermanos Marx". En aquests 6 anys de convivència, he sigut alhora mestre i alumne de les petites i grans coses de la vida, de les tradicions culturals més diverses, i he trobat en vosaltres la font d'energia, ajuda i ànims necessaris per arribar fins aquí. Vosaltres sabeu qui sou, a tots GRÀCIES de tot cor.

A la Roser i la Dori, les dues dones que amb la seva "màgia" fan possible el funcionament d'aquests "misteriosos" instruments del laboratori de masses.

Als meus amics de sempre, que han demostrat una fe cega en la meva feina, sense saber ben bé de què es tracta. I en especial a en David Ibáñez, dissenyador gràfic, per acceptar el repte de fer la portada de la present tesi i que ha sabut captar d'una manera tan original l'essència del meu treball.

I per suposat a tota la meva família, especialment a la meva germana Sara i els meus pares els quals es van esforçar per donar-me una bona educació, sempre m'han recolzat i confiat en el meu criteri; i finalment, agraeixo a en Christian que en els últims temps ha estat al meu costat (sense importar la distància) en els bons i els mals moments, ell és la llum al final d'aquest túnel.

ÍNDEXS

ÍNDEX DE CONTINGUT

1	INTRODUCCIÓ	19
1.1	Introducció general	19
1.1.1	Els combustibles fòssils, origen i refinat de la gasolina	19
1.1.2	Els additius oxigenats, introducció històrica als Estats Units	20
1.2	El metil tert-butil èter (MTBE)	25
1.2.1	Propietats i ús del compost	25
1.2.2	Producció i ús a Europa en comparació amb EEUU	28
1.2.3	Fonts potencials de contaminació del medi ambient	33
1.2.4	Les aigües subterrànies.....	34
1.2.5	Model teòric del comportament del MTBE en el medi ambient	36
1.2.6	Processos de degradació	40
1.2.7	Efectes nocius sobre la qualitat de les aigües de beguda.....	43
1.2.8	Primers efectes nocius detectats sobre la salut humana	44
1.2.9	Estudis de toxicitat	46
1.2.10	Accions i conclusions de diverses organitzacions mundials	49
1.2.11	Tècniques de remeiació	51
1.3	Legislació: requeriments per a la vigilància ambiental	53
1.3.1	Relativa a la qualitat de la gasolina	53
1.3.2	Relativa a la regulació sobre tancs subterranis d'emmagatzematge.....	55
1.3.3	Relativa a la protecció i qualitat de les aigües subterrànies	55
1.3.4	Relativa a la qualitat de les aigües destinades al consum humà.....	57
1.3.5	Recomanacions sobre el MTBE i nivells guia	57
1.3.6	Nova proposta relativa al registre, avaluació i autorització de productes químics (REACH).....	59
1.4	Mètodes d'anàlisi de compostos orgànics volàtils (VOCs) en mostres ambientals	61
1.4.1	Introducció.....	61
1.4.2	Manipulació de VOCs.....	62
1.4.3	Tècniques de preconcentració	63
1.4.4	Cromatografia de gasos (GC).....	66
1.4.5	Espectrometria de masses (MS)	67
1.5	Situació actual del MTBE	69
	<i>Art. 1.-" "Analysis, occurrence and fate of MTBE in the aquatic environment over the last decade"</i>	71
1.6	Justificació de la tesi	97
1.7	OBJECTIUS	99

2	METODOLOGIA I APLICACIO DE P&T-GC/MS PER A L'ANALISI D'AIGÜES	101
2.1	Introducció	101
2.1.1	Compostos d'estudi	101
2.1.2	La tècnica de Purga i Trampa (o Purga i Captura) - P&T	102
2.1.3	Material	107
2.1.4	Neteja del material	108
2.1.5	Instrumentació	108
2.2	Optimització i aplicació del mètode	113
2.2.1	Punts destacables del procés d'optimització	113
2.2.2	Estabilitat dels patrons en MeOH a -20°C	116
2.2.3	Protocol per a la presa de mostres d'aigua subterrània	117
2.2.4	Control de qualitat	120
2.2.5	Aplicació a mostres reals	121
	<i>Art. 2.-" Simultaneous determination of methyl tert.-butyl ether and its degradation products, other gasoline oxygenates and benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in Catalanian groundwater by purge-and-trap-gas chromatography–mass spectrometry"</i>	125
	<i>Art. 3.-" Cross-validation of methods used for analysis of MTBE and other gasoline components in groundwater"</i>	143
	<i>Art. 4.-" Fate of gasoline oxygenates in conventional and multilevel wells of a contaminated groundwater table in Düsseldorf, Germany"</i>	151
2.3	Discussió dels resultats	165
3	METODOLOGIA I APLICACIO DE P&T-GC/MS PER A L'ANALISI DE SÒLS	173
3.1	Introducció	173
3.1.1	Els sòls	173
3.1.2	Tècniques generals d'extracció de VOCs en sòls	174
3.1.3	P&T aplicat a mostres sòlides, avenços tecnològics	174
3.1.4	El problema del MTBE en sòls	176
3.1.5	Material i instrumentació addicionals	178
3.2	Optimització i aplicació del mètode	179
	<i>Art. 5.-" Simultaneous determination of methyl tertiary butyl ether, its degradation products and other gasoline additives in soil samples by closed-system purge-and-trap-gas chromatography–mass spectrometry"</i>	181
3.3	Discussió dels resultats	207
4	ANALISI D'ISOTOPS ESTABLES (CSIA) PER A L'AVALUACIO DE LA BIODEGRADACIO IN SITU DE MTBE EN AIGÜES SUBTERRANIES	211
4.1	Introducció	211

4.1.1	Els processos d'atenuació natural (NA)	211
4.1.2	Biodegradació de MTBE i ETBE.....	213
4.1.3	Anàlisi isotòpica dels elements estables (CSIA).....	215
4.2	Estudis de degradació de MTBE i ETBE amb diferents cultius bacterians aerobis	221
4.2.1	Experiments amb bacteries (preparació de microcosmos)	221
4.2.2	Anàlisi CSIA de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ i D/H.....	222
	<i>Art. 6.-" Variations in $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and D/H enrichment factors of aerobic bacterial fuel oxygenate degradation"</i>	223
4.3	Treball experimental adicional: avaluació de la biodegradació de MTBE <i>in situ</i> a una refinaria de l'Alemanya de l'est.....	247
4.4	Discussió dels resultats	251
5	CONCLUSIONS	255
6	ANNEXES.....	259
7	BIBLIOGRAFIA.....	263

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1.-Propietats fisico-químiques del MTBE segons diferents estudis.....	26
Taula 2.- Concentracions màximes dels components de la gasolina segons les regulacions de la Unió Europea i els Estats Units	30
Taula 3.- Fonts potencials de MTBE a les aigües.	33
Taula 4.- Solubilitat en aigua dels compostos presents a la gasolina.....	37
Taula 5.- Llandars de gust o olor a l'aigua per diferents additius de la gasolina.....	44
Taula 6.- Concentracions màximes suggerides pels additius d'estudi a les aigües subterrànies o de consum.....	59
Taula 7.-Comparació general de tècniques d'injecció o preconcentració per a l'anàlisi de compostos oxigenats en aigües.....	103
Taula 8.-Principals avantatges i inconvenients de la P&T aplicada a l'anàlisi d'aigües.....	106
Taula 9.- Valors dels paràmetres de P&T predeterminats per la trampa de Tenax, gel de sílice i carbó actiu	110
Taula 10.-Estabilitat d'alguns compostos d'estudi en MeOH a -20°C.....	117
Taula 11.-Avantatges i inconvenients de la utilització de P&T-GC/MS en vers HS-GC/FID .	166
Taula 12.-Intercomparació de resultats per MTBE (expressats en $\mu\text{g}/\text{L}$) en aigües subterrànies	167
Taula 13.-Principals avantatges i inconvenients del sistema de P&T tancat per a l'anàlisi de VOCs en sòls	176
Taula 14.-Resultats de les concentracions de MTBE i els respectius valors de Delta (C i H) mesurats per CSIA (n=3) a les mostres ambientals.....	248

Taula 15.-Càlcul de la biodegradació in situ de MTBE a partir de diferents factors de fraccionament	252
---	-----

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1.- Reaccions químiques dels conversors catalítics	23
Figura 2.- Estructura química tridimensional del metil tert-butil èter (MTBE)	25
Figura 3.- Ús del MTBE a Europa a l'any 1996	29
Figura 4.- Regulació europea actual dels compostos oxigenats	31
Figura 5.-Mapes hidrogeològics corresponents a un pou convencional (a) i un multinivell (b) a Düsseldorf, Alemanya. El nivell freàtic s'indica amb un triangle invertit (∇).....	35
Figura 6.- El moviment del MTBE en el medi ambient.....	40
Figura 7.- Principals vies de degradació del MTBE	42
Figura 8.- Estructures dels compostos d'estudi i els patrons interns emprats	102
Figura 10.- Trampes i combinacions d'adsorbents per P&T que es poden trobar al mercat (extreta del catàleg Supelco)	106
Figura 11.- Equip complet emprat en l'anàlisi inicial, de dreta a esquerra: AutosamplerAquatek 70, P&T concentrator Tekmar 3100 i Trace GC-MS	109
Figura 12.-Detall del tanc pressuritzat i filtre de GAC pel subministrament d'aigua a l'injector automàtic	109
Figura 13.- Separació del MTBE i el MTBE-d ₃ per espectrometria de masses (espectre en mode SIM).....	115
Figura 14.- Optimització dels paràmetres del P&T pel mètode simplex	116
Figura 15.-Diferents sistemes de presa de mostres d'aigua subterrània: mostrejador d'acer (A), mostrejador de plàstic (B), bombeig manual (C) o bombeig assistit per nitrogen (D).....	120
Figura 16.-Comparació de resultats per a la determinació de MTBE en aigües subterrànies (GW) i tractades per fangs actius procedents d'una refineria de l'Alemanya de l'est.....	168
Figura 17.-Presa de mostres d'aigua subterrània a diferents fondàries a un pou multinivell a Düsseldorf (Alemanya).	169
Figura 18.- Concentracions relatives de MTBE, TBA and TBF expressades com a percentatge envers la mitjana de les mostres (n=4) preses a cada pou: directament al vial (A), prèviament barrejades a una botella (B) amb o sense acidificar * TBA < 0,1 µg/L	170
Figura 19.-Contaminació puntual detectada en aigua de mar al sud de la Península Ibèrica....	172
Figura 20.-Nou injector SOLATek 72 Multi-Matrix Vial per a l'anàlisi de VOCs en aigües i sòls.....	178
Figura 21.-Correlacions de les recuperacions relatives a 60 i 80 °C amb les propietats físico-químiques dels analits, logaritme de la solubilitat (A), el Bp (B) i la Hc (C).	208
Figura 22.-Presa de mostres de sòl amb el mostrejador Terra Core.....	209
Figura 23.-Principals vies metabòliques proposades per a l'oxidació biològica del MTBE.....	214
Figura 24.- Equip de GC/C-IRMS per a l'anàlisi dels isòtops estables del carboni.....	217

Figura 25.-Principis bàsics del fraccionament isotòpic del carboni durant la biodegradació de MTBE i ETBE.....	218
Figura 26.- Material necessari per a la realització d'estudis de degradació aeròbica en microcosmos.....	222
Figura 27.-Material per la presa de mostres per a l'anàlisi de MTBE per CSIA.	247
Figura 28.-Fraccionament isotòpic pel C i H observat a diferents profunditats que alhora mostren concentracions de MTBE molt diverses.	249
Figura 29.- Correlació de les signatures isotòpiques (δ) del carboni respecte l'hidrogen trobades al camp	253

ÍNDIX D'ACRÒNIMS

2RFG: *reformulated gasoline* o gasolina reformulada en fase 2.

ACA: Agència Catalana de l'Aigua

AED: *atomic emission detector* o detector d'emissió atòmica.

amu: *atomic mass units* o unitats de massa atòmica.

AOPs: *Advanced Oxidation Processes* o Processos d'Oxidació Avançada.

ASTM: *American Society for Testing and Materials* o Societat Americana per l'avaluació i els materials.

ATD: *automated thermal desorption* o desorció tèrmica automàtica.

bl: *below limit of detection* o per sota del límit de detecció.

Bp: *Boiling point* o punt d'ebullició.

BTEX: Benzè, Toluè, Etilbenzè i Xilens.

Ca2RFG: gasolina reformulada en fase 2, exclusiva de l'Estat de Califòrnia.

CAS: *Chemical Abstracts Service*.

CE: Comunitat Europea.

CEE: Comunitat Econòmica Europea.

CLSA: *Closed Loop Stripping Analysis* o mètode d'arrossegament en circuit tancat.

CO: monòxid de carboni.

CO₂: diòxid de carboni.

Conc.: concentració.

CSIA: *Compound-specific stable isotope analysis* o anàlisi dels isotopes estables específics dels elements.

CSIC: Centre Superior d'Investigacions Científiques.

D: deuteri, isòtop de l'hidrogen de massa nuclear igual a 2 (un protó i un neutró).

DAI: *Direct Aqueous Injection* o Injecció Aquosa Directa.

DIPE: diisopropil èter o isopropil èter.

Índexs

- DOAS:** *Differential optical absorption spectrometry* o espectrometria d'absorció òptica diferencial
- ECD:** *electron-capture detector* o detector de captura d'electrons.
- EDAR:** estacions depuradores d'aigües residuals, en anglès *Waste water treatment plant (WWTP)*.
- EEUU:** Estats Units d'Amèrica.
- EI:** Impacte Electrònic.
- EPA:** *Environmental Protection Agency* o Agència de Protecció del Medi Ambient.
- ETBE:** etil *tert*-butil èter.
- FID:** *flame ionization detector* o detector de ionització de flama.
- FT:** *Fourier transform* o transformació Fourier.
- GAC:** *Adsorption to Granular Activated Carbon* o Adsorció per Carbó Activat Granular.
- GC:** *Gas chromatography* o Cromatografia de Gasos.
- GC-MS:** *Gas Chromatography/Mass Spectrometry* o Cromatografia de Gasos acoblada a Espectrometria de Masses.
- GPS:** *Global Positioning System* o Sistema Global de localització.
- H o Hc:** Constant de la llei de Henry o constant de Henry.
- H/RT:** Constant adimensional de Henry, on R és la Constant dels Gasos i T la temperatura.
- HIBA:** *2-hydroxy isobutyric acid* o àcid 2-hidroxi isobutíric.
- HPLC:** *High Performance Liquid Chromatography* o cromatografia líquida d'alta resolució.
- HS:** *Headspace* o espai de cap estàtic.
- IARC:** *International Agency for Research on Cancer* o Agència Internacional per la Recerca del Càncer.
- IIQAB:** Institut d'Investigació de Química Ambiental.
- IRMS :** *isotope-ratio mass spectrometer* o espectròmetre de masses per a la mesura de les relacions isotòpiques dels isòtops estables.
- K:** paràmetre hidràulic relatiu a la permeabilitat del sòl.
- K_{ow}:** Coeficient de partició octanol-aigua.
- Lab.:** laboratori.
- LC:** *Liquid Chromatography* o Cromatografia de Líquids.
- LLE :** Extracció líquid-líquid.
- LOD:** *Limits Of Detection* o límits de detecció.
- LUST:** *Leaking underground storage tank* o tancs d'emmagatzematge subterranis amb fuites de gasolina.

- MeOH:** metanol.
- MIMS:** *membrane introduction mass spectrometry* o espectrometria d'introducció de membrana.
- MMP:** 2-metoxi-2-metilpropanal.
- MS:** *Mass Spectrometry* o Espectrometria de Masses.
- MTBE:** metil *tert*-butil èter.
- NA:** *Natural Attenuation* o Atenuació natural.
- na:** no analitzat.
- NAWQA:** *National Water Quality Assessment Program* o Programa Nacional d'Avaluació de la Qualitat de l'Aigua.
- nd:** no detectat o no disponible.
- NO₃:** radicals nitrats.
- NOEL:** *no-observed-effect level* o nivell d'efecte no observable
- NO_x:** òxids de nitrogen.
- NTP:** *National Toxicology Program* o Programa Nacional de Toxicologia.
- NWQL:** *National Water Quality Laboratory* o Laboratori Nacional sobre Qualitat de l'Aigua.
- O₃:** ozó.
- OH•:** Radical hidroxil.
- OMS:** Organització Mundial de la Salut, en anglès les sigles són WHO.
- OXY:** *oxyfuel* o combustible oxigenat (amb no menys d'un 2,7% d'oxigen en pes).
- P&T:** *Purge and Trap* o Purga i Trampa o espai de cap dinàmic.
- PAM:** *Purge-and-membrane* o purga i membrana.
- Pb:** Plom.
- PBDEs:** polibromats difenil èters.
- PI o PIs:** Patró/ns Intern/s, en anglès IS.
- PID:** *photoionization detector* o detector de fotoionització.
- PLE:** *pressurized liquid extraction* o extracció per líquids pressuritzats (nom comercial de Dionex, *accelerated solvent extraction*: ASE)
- ppb:** parts per bilió (americà) o µg/L.
- ppm:** parts per milió o mg/L.
- ppt:** parts per trilió (americà) o ng/L.
- R²:** Coeficient de regressió d'una recta.
- REACH:** *Registration, Evaluation and Authorisation of CHemicals* o registre, avaluació i autorització de productes químics

Índexs

RFG: *reformulated gasoline* o gasolina reformulada (amb no menys d'un 2% d'oxigen en pes).

RON: *Research Octane Number* o índex d'octans

RSD: *Relative Standard Deviation* o Desviació estàndard relativa.

Rt: *Retention time* o temps de retenció.

SIG: *GIS* o Sistemes d'Informació Geogràfica.

SIM o SIR: Són sinònims, *Single/Selected Ion Monitoring* i *Selected Ion Recording* respectivament. Es refereixen al registre selectiu de ions.

SIP: *Stable Isotope Probing*.

SMCL: *secondary maximum contaminant level* o nivell màxim secundari de contaminant

SPME: *Solid phase micro-extraction* o microextracció en fase sòlida.

T^a o T: temperatura.

TAA: *tert*-amil alcohol o 2-metil-2-butanol.

TAME: *tert*-amil metil èter o *tert*-pentil metil èter.

TBA: *tert*-butil alcohol, *tert*-butanol o 2-metil-2-propanol.

TBF: *tert*-butil formiat o èster *tert*-butílic d'àcid fòrmic.

***tert*:** *tertiary* o terciari.

TIC: *Total Ion Current* o corrent iònica total.

TOC: *Total organic carbon* o carboni orgànic total.

TOF: Analitzador de temps de vol o *Time of Flight*.

UBA: *Umweltbundesamt* o Agència de Medi Ambient Alemanya.

UE: Unió Europea.

USEPA: *United States Environmental Protection Agency* o Agència de Protecció del Medi Ambient dels Estats Units d'Amèrica.

USGS: *United States Geological Survey*.

VOC/s: compost/os orgànic/s volàtil/s.

Vol.: volum, també (v/v).