

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**FACULTAD DE MEDICINA Y
CIENCIAS DE LA SALUD**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA QUÍMICA**

**ANÁLISIS DE FLUJOS DE SUBSTANCIAS: UNA
HERRAMIENTA APLICADA A LA EVALUACIÓN DE
RIESGOS POR DIOXINAS EN LA PROVINCIA DE
TARRAGONA**

TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR
GERARD FUSTER CAMP
PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

DIRIGIDA POR
DRES. JOSEP L. DOMINGO ROIG Y MARTA SCHUHMACHER ANSUATEGUI

MARZO 2002

**ANÁLISIS DE FLUJOS DE SUBSTANCIAS: UNA
HERRAMIENTA APLICADA A LA EVALUACIÓN DE
RIESGOS POR DIOXINAS EN LA PROVINCIA DE
TARRAGONA**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores Dr. Josep L. Domingo Roig y Dra. Marta Schuhmacher Ansuategui, por todo lo que me han enseñado en este periodo de formación.

Deseo también expresar mi agradecimiento a Andreas Gleiss y Thomas Matyus, del Department of Econometrics and System Theory de la Universidad de Tecnología de Viena, por su contribución decisiva al haber aportado las herramientas de software que han hecho posible el presente trabajo.

Quiero también expresar mi gratitud a todos los compañeros del Departamento de Ingeniería Química y del Departamento de Ciencias Médicas Básicas por la ayuda recibida durante estos años que hemos convivido juntos.

ABREVIATURAS

| | |
|---------|--|
| A | Flujo de acumulación |
| ACB | Análisis Coste-Beneficio |
| AEQT | Asociación Empresarial Química de Tarragona |
| AFS | Análisis de Flujos de Substancias |
| B_n | Beneficio |
| C | Concentración |
| C_n | Coste |
| CKD | Polvo de horno generado en las plantas cementeras |
| COI | Valor del coste de enfermedad |
| CREAF | Centre per a la Recerca biològica i Aplicació forestal |
| CSIC | Consejo Superior de Investigaciones Científicas |
| CT | Coefficientes de transferencia |
| D | Flujo de disminución |
| DARP | Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca |
| D-R | Dosis-Respuesta |
| EBR | Esquema de balance reducido |
| EDAR | Estación depuradora de aguas residuales |
| E_i | Emisión anual de la fuente i |
| ESP | Precipitador electrostático |
| ET | Ecuaciones de transferencia |
| f | Flujo de subsistemas desagregados |
| F | Flujo entre subsistemas agregados |
| FE | Factor de emisión |
| F_v | Flujo volumétrico de gas de escape |
| G | Flujo de generación |
| h | Hora |
| Ha | Hectárea |
| hab | Habitante |
| I_o | Costes de inversión |
| IARC | Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer |
| IC | Índice de confianza |
| IEFC | Institut d'Estudis Forestals de Catalunya |
| IER | Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung |
| IIR | Índice interno de retorno |
| INE | Instituto Nacional de Estadística |
| IOM | Instituto de Medicina Norteamericano |
| IPC | Índice de precios de consume |
| IRE | Incineradora de residuos especiales |
| IRSU | Incineradora de residuos sólidos urbanos |
| I-TEF | Factor de equivalencia tóxica internacional |
| I-TEQ | Equivalentes tóxicos internacionales |
| MCV | Método de costes de viaje |
| MEC | Método de evaluación contingente |
| MPH | Método de precios hedónicos |
| NA | Nivel de actividad |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PCDD/Fs | Dioxinas/Furanos |

| | |
|-------|--|
| pde | Punto de ebullición |
| pdf | Punto de fusión |
| POP | Contaminante orgánico persistente |
| P_v | Presión de vapor |
| r | Índice de descuento |
| RDF | Fuel derivado de residuos |
| RLA | Relaciones lineales adicionales |
| RSU | Residuos sólidos urbanos |
| S | Solubilidad |
| SEO | Sociedad Española de Ornitología |
| SOC | Compuesto orgánico semivolátil |
| TCR | Tratamiento centralizado de residuos |
| TDI | Ingesta diaria tolerable |
| TEF | Factor de equivalencia tóxica |
| TEQ | Equivalentes tóxicos |
| TGT | Filtro Tres Grande Taille |
| UNEP | United Nations Environment Programme |
| USEPA | Agencia de protección medioambiental de EEUU |
| Var | Varianza |
| VC | Valor de un caso mortal de cáncer |
| VEVS | Valor estadístico de la vida salvada |
| VLYL | Valor de un año perdido |
| VPB | Valor presente de los beneficios |
| VPBN | Valor presente de los beneficios netos |
| VPC | Valor presente de los costes |
| VPN | Valor presente neto |
| WTP | Disposición de pago |
| YOLL | Años acumulados de vida perdida |

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Aspectos generales de las dioxinas y compuestos químicamente similares | 2 |
| 1.2. Toxicidad de las PCDD/Fs | 5 |
| 1.3. Fuentes e inventarios | 10 |
| 1.3.1. Clasificación de las fuentes | 10 |
| 1.3.2. Mecanismos de formación de PCDD/Fs | 13 |
| 1.3.3. Inventarios | 16 |
| 1.3.4. Fuentes primarias de PCDD/Fs | 17 |
| 1.3.4.1. Descripción de los principales generadores de PCDD/Fs | 17 |
| 1.3.4.2. Procesos no industriales | 36 |
| 1.3.5. Fuentes secundarias de PCDD/Fs o reservorios | 41 |
| 2. Objetivos | 47 |
| 3. Materiales y métodos | 50 |
| 3.1. Descripción del área de estudio | 51 |
| 3.2. Inventario de fuentes de PCDD/Fs en la provincia de Tarragona | 52 |
| 3.2.1. Emisiones de PCDD/Fs al aire | 53 |
| 3.2.2. Descargas de PCDD/Fs al suelo y al agua | 56 |
| 3.3. Análisis de Flujos de Substancias | 57 |
| 3.3.1. Identificación del sistema | 59 |
| 3.3.2. Análisis de Origen | 69 |
| 3.3.3. Análisis de Control | 70 |
| 3.3.4. Simulación | 72 |
| 3.4. Evaluación de riesgo | 72 |
| 3.5. Análisis Coste-Beneficio | 76 |
| 3.5.1. Identificación de costes y beneficios | 77 |
| 3.5.2. Medición de costes y beneficios | 77 |
| 3.5.3. Comparación de costes y beneficios y reglas de decisión | 79 |
| 4. Resultados y discusión | 82 |
| 4.1. Inventario de emisiones anuales de PCDD/Fs en la provincia de Tarragona | 83 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.Comparación de inventarios | 108 |
| 4.3.Análisis de Flujos de Substancias | 111 |
| 4.3.1. Diseño del modelo | 111 |
| 4.3.2. Modelo matemático | 123 |
| 4.3.2.1. Flujos medidos | 123 |
| 4.3.2.2. Ecuaciones de transferencia | 163 |
| 4.3.2.3. Ecuaciones lineales adicionales | 164 |
| 4.3.3. Estimación de flujos no medidos | 165 |
| 4.3.4. Validación de flujos no medidos | 169 |
| 4.3.5. Estimación de coeficientes de transferencia del sistema | 176 |
| 4.3.6. Análisis de Flujo de Substancias: Discusión | 179 |
| 4.3.7. Análisis de Control | 194 |
| 4.4.Evaluación de riesgos de emisiones de PCDD/Fs en una industria | 196 |
| 4.4.1. Elección de la industria | 196 |
| 4.4.2. Tratamiento de la incertidumbre | 197 |
| 4.4.3. Evaluación de riesgos | 198 |
| 4.5.Análisis Coste-Beneficio | 201 |
| 4.5.1. Estimación de beneficios | 202 |
| 4.5.2. Estimación de los costes | 206 |
| 4.5.2.1. Filtros de carbón activo | 207 |
| 4.5.2.2. Costes del filtro Tres Grande Taille | 210 |
| 4.5.3. Regla de decisión | 215 |
| 5. Conclusiones | 224 |
| 6. Bibliografía | 229 |