



**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA GENERAL Y DE LA ATMÓSFERA

**TESIS DOCTORAL**

***ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL  
AIRE EN EL INTERIOR DE  
EDIFICIOS***

Autor:

**Óscar Seco Calvo**

Directores:

**Moisés Egido Manzano**

**Fernando de Pablo Dávila**

**Salamanca, 2014**



**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA GENERAL Y DE LA ATMÓSFERA**

***ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL  
AIRE EN EL INTERIOR DE  
EDIFICIOS***

Memoria presentada para optar al Grado de Doctor

por

**ÓSCAR SECO CALVO**

**Salamanca, 2014**



**DEPARTAMENTO DE FÍSICA GENERAL Y DE LA ATMÓSFERA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

MOISÉS EGIDO MANZANO, Catedrático del Departamento de Física General y de la Atmósfera de la Universidad de Salamanca,

**CERTIFICO:** que el trabajo presentado por D. Oscar Seco Calvo, titulado: “ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS”, ha sido realizada bajo mi dirección.

El estudio llevado a cabo ha tenido un adecuado planteamiento científico, con una metodología apropiada que ha permitido desarrollar un meticuloso trabajo de campo y un análisis de laboratorio con las técnicas más actuales. Los resultados y su discusión han sido tratados de forma rigurosa, lo que ha conducido a la emisión de unas conclusiones de gran utilidad en el ámbito de las Ciencias Medioambientales.

Considero que el trabajo reúne las condiciones científicas necesarias para ser defendido y juzgado por el Tribunal correspondiente, a fin de poder optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Para que así conste a los efectos oportunos, firmo la presente certificación en Salamanca a 23 de octubre de 2014.



**DEPARTAMENTO DE FÍSICA GENERAL Y DE LA ATMÓSFERA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

FERNANDO DE PABLO DÁVILA, Profesor Titular del Departamento de Física General y de la Atmósfera de la Universidad de Salamanca,

**CERTIFICO:** que el trabajo presentado por D. Óscar SECO CALVO, titulado: “ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS”, ha sido realizada bajo mi dirección.

El estudio llevado a cabo ha tenido un adecuado planteamiento científico, con una metodología apropiada que ha permitido desarrollar un meticuloso trabajo de campo y un análisis de laboratorio con las técnicas más actuales. Los resultados y su discusión han sido tratados de forma rigurosa, lo que ha conducido a la emisión de unas conclusiones de gran utilidad en el ámbito de las Ciencias Medioambientales.

Considero que el trabajo reúne las condiciones científicas necesarias para ser defendido y juzgado por el Tribunal correspondiente, a fin de poder optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Para que así conste a los efectos oportunos, firmo la presente certificación en Salamanca a 23 de octubre de 2014.

## **AGRADECIMENTOS**

A los Profesores Dres. Moisés Egido Manzano y Fernando de Pablo Dávila, que han sido mis garantes científicos. Han sabido infundirme la inquietud científica para poder iniciarme en la investigación y perseverar en el desarrollo de este trabajo. Agradezco profundamente su continua orientación, su permanente entusiasmo y tenacidad en el trabajo y su amistad.

Al departamento de Física General y de la Atmósfera de la Universidad de Salamanca, por la ayuda prestada, las facilidades dadas, y el apoyo recibido.

A la Universidad de Salamanca, y a la Facultad de Ciencias, por aceptarme entre su comunidad universitaria.

A mi mujer Marisa, a quien amo con todo mi corazón quien tan generosamente han sabido comprender la importancia de este trabajo para mí, y se ha sacrificado para que lo pudiera sacar adelante, a pesar de perder tiempo de estar juntos, y a mis hijos Amanda y Ángel.

A todo el personal de los centros donde he obtenido los datos, gracias al Proyecto ARFRISOL y fundamentalmente a su Coordinadora General, M<sup>a</sup> del Rosario Heras Celemín, que desinteresadamente, y con gran talante humano, posibilitó mi tarea investigadora, y, me ayudó a realizar mis obligaciones investigadoras.

A todos mis compañeros de trabajo que, más allá de una mera colaboración, me han facilitado en cada momento todo lo que he precisado de ellos para la realización de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, que me han soportado hasta lo indecible en esta época un tanto difícil para todos.

A mis padres, a mi madre y a la memoria de mi padre, que me dieron la vida, me educaron, y me inculcaron que con esfuerzo y sacrificio en el trabajo y amor en todo, la vida cobra sentido.

## RESUMEN

El cuidado de las condiciones ambientales y la reducción del consumo de energía en las actividades del conjunto de la sociedad son, cada día más, un problema que hay que resolver satisfactoriamente. Una parte importante de este consumo energético está circunscrito al sector de la edificación y su uso final.

Nuestro objetivo es, evaluar en condiciones reales de uso, que la edificación bioclimática es, además de energéticamente sostenible para la salubridad humana de los usuarios de este tipo de edificación, un beneficio y no un riesgo para su salud. Por todo ello, se analiza la calidad de aire en busca de contaminantes típicos de los edificios, pero también buscando nuevos contaminantes que pudieran haber surgido del uso de nuevos materiales, equipos y técnicas constructivas específicas de la edificación bioclimática.

Se ha comenzado evaluando la calidad del aire con los sistemas clásicos en este campo de trabajo, con tubos de adsorbentes que se analizan en un GS-MS, de esta forma se tiene un gran espectro de contaminantes que se pueden encontrar. Normalmente, este tipo de edificaciones bioclimáticas es escasa o nula, aún así, pero se han buscado nuevos sistemas de medida para evaluar la contaminación en este tipo de edificaciones. Se han combinado distintos sistemas de medida, para la obtención de unos resultados fiables, seguros, cuantificables y reproducibles; esto se ha hecho utilizando principalmente el sistema FTIR y apoyándose en un sistema de PID para tener una idea de los VOCs totalizados y por supuesto, con los equipos de medida standar de IAQ más utilizados en este campo.

De esta manera, se ha verificado que una edificación bioclimática es más saludable que una convencional, que no tiene contaminantes atmosféricos diferentes que otras y los que tiene, están en una cantidad mínima o indetectable, y que al ventilarse de forma adecuada, no sufre el primer año, de una contaminación interior muy elevada, como sucede con los edificios convencionales. Para poder llegar a esta conclusión, ha sido necesario utilizar un sistema novedoso de medida (FTIR) que no se aplicaba comúnmente en este campo, pero que ha demostrado ser eficiente y fiable.

## **ABSTRACT**

Respect for the environment and initiatives to reduce energy consumption in all activities developed by society at large are currently two issues of great concern that demand satisfactory solutions. An important part of energy consumption is that deriving from the heating and the final use of buildings.

Our aim here is to assess, under real conditions of usage, whether constructions built on the basis of respectful bioclimatic parameters are beneficial for human health and not a risk, and whether they are sustainable in terms of energy consumption. Thus, we analyzed air quality, seeking the typical pollutants of such buildings and also new pollutants that may have arisen from the use of new materials, apparatus and construction techniques specific to this type of edification.

First we evaluated air quality with the classic tools used in this field, using adsorbent-packed tubes subjected to CG-MS. This revealed a broad spectrum of pollutants that can be detected, although in this type of construction they are usually scarce or absent. This is a successful result but new systems for building assessment have been developed. These combine different measuring systems with a view to obtaining reliable, safe, quantifiable and reproducible results. Here we mainly employed the FTIR system, using a PID system as support, to gain an idea of total VOCs. The standard IAQ measurements typically used in the field were also implemented.

In conclusion, we observed that bioclimatic buildings are healthier than their previous counterparts; they do not contain atmospheric pollutants different from those usually found and are present in minimum or undetectable amounts. If they are suitably ventilated, during the first year these buildings do not accumulate very high interior pollutant levels, unlike new conventional buildings. To observe this it was necessary to use a new measuring system (FTIR) that is not normally employed in this field but is efficient and reliable.

# INDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
<b>2.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>4</b>
2.1.1. <i>Síndrome del edificio enfermo</i> .....	4
2.1.2. <i>Calidad del aire en edificios</i> .....	7
2.1.3. <i>Aspectos del sistema de ventilación</i> .....	12
2.1.4. <i>Origen de los contaminantes</i> .....	13
2.1.5. <i>Investigación de la calidad del aire en los interiores</i> .....	15
2.1.6. <i>Edificios bioclimáticos y calidad del aire</i> .....	18
2.1.7. <i>Contaminantes químicos objeto de estudio. Los VOC's</i> .....	19
2.2. METODOLOGÍA ANALÍTICA EN ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AIRE. ANTECEDENTES.....	22
2.2.1. <i>Selección de la metodología analítica</i> .....	23
2.2.2. <i>Técnicas de mejora de análisis</i> .....	23
2.2.3. <i>Antecedentes en Europa</i> .....	24
<b>3.- MATERIALES Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>25</b>
3.1. EDIFICIOS (CONTENEDORES) DONDE SE REALIZA EL ESTUDIO .....	25
3.1.1. <i>C-DI ARFRISOL DE ASTURIAS (BARREDO)</i> .....	25
3.1.1.1. <i>Clima</i> .....	26
3.1.1.2. <i>Descripción escenario C-DDI SP5-Fundación Barredo (Asturias)</i> .....	26
3.1.1.3. <i>Estrategias pasivas implementadas</i> .....	28
3.1.1.4. <i>Estrategias activas implementadas</i> .....	30
3.1.2. <i>C-DI ARFRISOL CIESOL, (ALMERÍA)</i> .....	33
3.1.2.1. <i>Clima</i> .....	33
3.1.2.2. <i>Descripción escenario del C-DDI SP2-UAL (U. Almería, Mediterráneo)</i> .....	35
3.1.2.3. <i>Estrategias pasivas implementadas</i> .....	37
3.1.2.4. <i>Estrategias activas implementadas</i> .....	36
3.1.3. <i>C-DDI ARFRISOL de MADRID. (Edificio-70- CIEMAT)</i> .....	39
3.1.3.1. <i>Clima</i> .....	39
3.1.3.2. <i>Descripción escenario C-DDI ARFRISOL de MADRID. (edificio-70- CIEMAT)</i> .....	40
3.1.3.3. <i>Estrategias pasivas implementadas</i> .....	41
3.1.3.4. <i>Estrategias activas implementadas</i> .....	44
3.1.4. <i>C-DDI ARFRISOL PSA, ALMERÍA</i> .....	45
3.1.4.1. <i>Clima</i> .....	46
3.1.4.2. <i>Descripción escenario C-Ddi SP4-PSA (CIEMAT-PSA, Tabernas)</i> .....	47
3.1.4.3. <i>Estrategias pasivas implementadas</i> .....	47
3.1.4.4. <i>Estrategias activas implementadas</i> .....	49
3.1.5. <i>C-DDI ARFRISOL DE SORIA (CEDER )</i> .....	50
3.1.5.1. <i>Clima</i> .....	51
3.1.5.2. <i>Descripción escenario C-Ddi SP6-CEDER (CIEMAT-CEDER SORIA)</i> .....	52
3.1.5.3. <i>Estrategias pasivas implementadas</i> .....	55
3.1.5.4. <i>Estrategias activas implementadas</i> .....	55
3.2. SISTEMAS Y EQUIPOS DE MEDIDAS .....	59
3.2.1. <i>SISTEMAS DE MEDIDA</i> .....	59
3.2.1.1. <i>Sistemas de muestreo sobre soporte físico</i> .....	60
3.2.1.2. <i>Sistemas de separación</i> .....	62

3.2.2. Equipos empleados.....	62
3.2.2.1. Analizador espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier.....	63
3.2.2.2. Analizador por fotoionización (PID) PPB.....	67
3.2.2.3. Equipos de medición de partículas e IAQ.....	70
3.2.2.3.1. Equipos de IAQ .....	70
3.2.2.3.2. Contador de partículas ultrafinas .....	72
3.2.2.4. Analizador de Formaldehído .....	73
3.2.2.5. Analizador portátil de compuestos orgánicos volátiles (COVs) Airmovoc C6-C12 ...	74
3.2.2.6. Nox Serious 40 de ECOTECH portable .....	74
3.2.2.5. VOC's con tubos .....	75
<b>4.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>76</b>
4.1. MUESTREO Y ANÁLISIS EX SITU.....	76
4.1.1. Muestreo sobre soporte seguido de análisis en laboratorio por GC-MS.....	76
4.1.2. Estrategia de muestreo .....	77
4.2. MUESTREO Y ANÁLISIS IN SITU .....	78
4.2.1. FTIR DX4030 .....	79
<b>5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>82</b>
5.1. ESCENARIOS DEL C-DDI SP5-FUNDACIÓN BARREDO (ASTURIAS).....	82
BARREDO 14/06/2012 .....	83
BARREDO 21/05/2012 .....	89
BARREDO 22/05/2012 Mañana .....	93
BARREDO 22/05/2012 Tarde .....	97
BARREDO 19/08/2009 Mañana .....	102
BARREDO 19/08/2009 Tarde .....	107
5.2. ESCENARIO DEL C-DDI ARFRISOL DE CIESOL-ALMERIA (MEDITERRANEO).....	112
5.2.1. TOMA DE MUESTRAS .....	112
5.3. ESCENARIOS DEL PSA y CIESOL .....	114
03/09/2009 PSA- CIESOL .....	115
09/10/2010 PSA-CIESOL .....	121
5.4. ESCENARIO DEL C-DDI AFRISOL. MADRID .....	127
5.4.1. TOMA DE MUESTRAS.....	127
14/12/2009 ED 70 .....	128
24/02/2010 ED 70 .....	136
5.4.2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.....	137
24/02/2010 ED70 TARDE.....	140
31/05/2011 ED 70 .....	150
5.5. ESCENARIO DEL C-DDI SP6-CEDER (CIEMAT SORIA).....	158
5.5.1 TOMA DE MUESTRA.....	158
CEDER 13/08/2009 Mañana .....	159
CEDER 13/08/2009 Tarde .....	164
CEDER02/09/2010.....	167
5.6. ESCENARIO DEL C-DDI AFRISOL DE CIESOL ALMERIA (MEDITERRANEO).....	174
CIESOL 14/07/2011.....	176
5.7. ESCENARIO DEL C-DDI AFRISOL DE PSA- ALMERIA.....	181
PSA 10/10/2010 .....	182
PSA 23/03/2012 .....	188
<b>6.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>194</b>
<b>7.- BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>200</b>
<b>8.- ANEXO I .....</b>	<b>210</b>

## RELACION DE ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS

PSEARFRISOL	Proyecto singular y estratégico de arquitectura bioclimática y frío solar
EERR	Energías Renovables
SP	Subproyecto
C-DdI	Contenedor– demostrador de investigación
C-DdIs	Contenedores – demostradores de investigación
VOCs	Compuestos Orgánicos Volátiles
COVs	Compuestos Orgánicos Volátiles
MINECO	Ministerio de Economía y Competitividad
OMS	Organización Mundial de la Salud
OLF	Intensidad con que emite bioefluentes (contaminantes) una persona media, sedentaria y en situación de confort térmico.
DECIPOL	Contaminación ambiental generada por una persona estándar
NSE	Nivel sin efecto
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers
UiE3	Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente Norteamericana
MEK	Metiletilcetona
ppbv	Partes por billón (en volumen)
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
TLV	Valor límite umbral (ThresholdLimitValues).
TVOCs	Compuestos Orgánicos Volátiles Totales
COVTs	Compuestos Orgánicos Volátiles Totales
NMHC	Hidrocarburos no metánicos
Proyecto APHEA	Air Pollution on Health: an European Approach
ACS	Agua caliente sanitaria
ED	Edificio
CEDER	Centro de Desarrollo de Energías Renovables
PID	Detector de fotoionización
FID	Detector de ionización por llama
FTIR	Análisis de infrarrojos por transformada de Fourier,
FFT	La Transformada Rápida de Fourier
PDA	Asistente digital personal
UV	(Luz) ultravioleta
IAQ	Calidad de aire en interior (indoor air quality)
CPU	Unidad central de procesamiento
ATD	Desorción Térmica Programada
GC – MS	Cromatógrafo de gases equipado con detector de masas GC-MS.
UTAs	Unidades de tratamiento de aire (sistema de ventilación)
CIESOL	Centro de Investigación de Energía solar
FREMAP	Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales de la SS
PSA	Plataforma Solar de Almería
I+D	Investigación y desarrollo
REACH	Registro, Evaluación y Autorización de Productos Químicos. Reglamento N° 1907/2006 (CE).

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla I. VOC's más habituales considerados como contaminantes
- Tabla II. Clasificación de los VOC's en función de su aplicabilidad práctica
- Tabla III. Valores guía propuestos para TVOCs en aire interior
- Tabla IV. Superficies del C-Ddl de la Fundación Barredo
- Tabla V. Ficha técnica del C-Ddl SP5- Barredo
- Tabla VI. Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddl SP5- Barredo
- Tabla VII. Superficies CIESOL (nombre C-Ddl)
- Tabla VIII. Ficha técnica del C-Ddl SP2-CIESOL
- Tabla IX. Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddl SP2-CIESOL
- Tabla X. Superficies del C-Ddl, Ed70-CIEMAT
- Tabla XI. Ficha técnica del C-Ddl SP3-Ed 70-CIEMAT
- Tabla XII.- Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddl SP3-Ed 70-CIEMAT
- Tabla XIII. Superficies del C-Ddl de la PSA, Almería
- Tabla XIV. Ficha técnica del C-Ddl SP4-PSA, Almería
- Tabla XV. Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddl SP4-PSA, Almería
- Tabla XVI. Superficies del C-Ddl del CEDER (Soria)
- Tabla XVII. Ficha técnica del C-Ddl SP6- CEDER (Soria)
- Tabla XVIII. Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddl SP6-CEDER (Soria)
- Tabla XIX. Principales técnicas de análisis
- Tabla XX. Comparativa de sistemas de análisis
- Tabla XXI. El sistema de análisis PID. Características principales
- Tabla XXII. El sistema de análisis Equipos de IAQ. Características principales
- Tabla XXIII. El sistema analizador de formaldehído. Características principales
- Tabla XXIV. Características de los adsorbentes principales

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico I. consumo energético medio en Europa
- Gráfico II. Vibración característica de una molécula de CO<sub>2</sub>
- Gráfico III. Análisis de aire mediante técnica FTIR
- Gráfico IV. Espectro IR del CO<sub>2</sub>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

- Imagen I. Localización del CDdl en el marco de Siero.
- Imagen II. Localización del CDdl en el marco de la Universidad de Almería.
- Imagen III. C-DdlCiesol Arfrisol.
- Imagen IV. Localización del CDdl en el marco Ciudad Universitaria, CIEMAT.
- Imagen V. Localización del CDdl en la Plataforma Solar de Almería.
- Imagen VI. Localización del CDdl en el marco del CEDER (Soria).
- Imagen VII. C-Ddl CEDER Arfrisol (Soria).
- Imagen VIII. Detalle de los 5 equipos de medición durante un muestreo en Asturias.
- Imagen IX. Detalle del FTIR durante un ensayo.
- Imagen X. Sensores fijos en el interior del CD-dl de Madrid.
- Imagen XI. Disposición de los dispositivos de la UIE3.
- Imagen XII. Disposición de los dispositivos de la UIE3 y los adsorbentes del FREMAP.

## **ÍNDICE DE MAPAS**

- Mapa I. Situación de Barredo (Asturias)
- Mapa II. Situación del Ciesol (Almería)
- Mapa III. Situación Del Ed-70 (Madrid)
- Mapa IV. Situación de la PSA (Almería)
- Mapa V. Situación del CEDER (Soria)

## **ÍNDICE DE PLANOS**

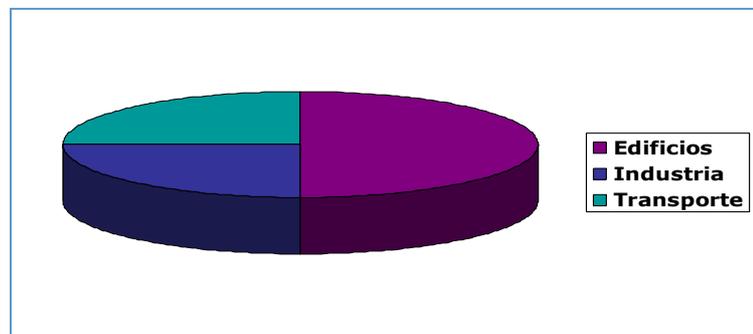
- Plano 1. Planta baja, aulas, cafetería y hall. C-Ddl Arfrisol de Asturias
- Plano 2. Planta intermedia, sala de reuniones y despachos. C-Ddl Arfrisol de Asturias
- Plano 3. Planta superior, buhardilla, ordenadores Control. C-Ddl Arfrisol de Asturias
- Plano 4. Planta baja del C-Ddl Arfrisol Ciesol (Almería)
- Plano 5. Planta superior del C-Ddl Arfrisol Ciesol (Almería)
- Plano 6. Planta baja, despachos del C-Ddl, Ed70-CIEMAT
- Plano 7. Plantas de la edificación, con muy distintas actividades, del C-Ddl, Ed70-CIEMAT
- Plano 8. Planta baja del C-Ddl PSA Arfrisol, Almería
- Plano 9. Planta baja del C-Ddl Arfrisol del CEDER (Soria)
- Plano 10. Planta baja del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria) [Detalle.]
- Plano 11. Planta baja del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria) [Detalle 2.]
- Plano 12. Planta superior del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria)
- Plano 13. Planta superior del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria) [Detalle.]
- Plano 14. Ventilación despachos del C-Ddl SP6- CEDER (Soria)
- Plano 15. Ventilación auditorio del C-Ddl SP6- CEDER (Soria)

# 1 INTRODUCCIÓN.

## 1.1. ANTECEDENTES.

El acelerado desarrollo industrial y el empleo masivo de energía convencional de las últimas décadas, está produciendo un agotamiento de los recursos naturales de los que dispone el planeta [18], [20], con un preocupante impacto ambiental [29], [30], significativos incrementos de los contaminantes más habituales en la atmósfera e incorporación de nuevas sustancias derivadas de recientes procesos industriales. El cuidado de las condiciones ambientales y la reducción del consumo de energía en el conjunto de la sociedad son, cada día más, de interés estratégico a nivel nacional, con implicaciones sociales y económicas [11], [16], [17].

Una parte importante de este consumo energético está encuadrado en el sector de la edificación y su uso final: 40% del consumo de energía convencional es producto del servicio habitual de los edificios en el conjunto de la Unión Europea (Gráfica I), siendo algo menor en España, con un 33%.



**Gráfica 1.** Consumo energético medio en Europa

En esta línea se plantea el proyecto singular y estratégico de arquitectura bioclimática y frío solar, PSEARFRISOL el cual tiene como objetivo principal la reducción del 90% de energía convencional en el ámbito de la edificación y su uso final mediante la construcción de 5 edificaciones bioclimáticas en diferentes zonas climáticas de España. Para tal propósito, se potenciarán las Energías Renovables (EERR) y se maximizará la eficiencia energética en el interior de las 5 edificaciones bioclimáticas con un correcto planteamiento que potencie el confort ambiental interior asegurando que la calidad del aire interior de las edificaciones reúna unas condiciones adecuadas de calidad sensitiva y salubridad no sensitiva.

El problema de la calidad del aire interior no es un tema trivial: desde 1970 se ha experimentando un crecimiento en el número de compuestos y concentraciones presentes en el aire interior de oficinas y viviendas, con resultados perjudiciales para la salud como el síndrome del edificio enfermo [5], [6]. Este conjunto de patologías presentadas por individuos que habitan de forma frecuente estos edificios, que no sufren una lesión orgánica y que, generalmente, se diagnostican por exclusión, incluye irritación de ojos, sequedad, sensación de ahogo, picores generalizados, dolores de cabeza etc. Considerando que el porcentaje de tiempo de permanencia en el interior de viviendas o edificios de oficinas puede cuadruplicar el tiempo de permanencia en exteriores, es evidente la gran importancia que tiene la calidad del aire interior [19], [20], [78].

Como objetivo específico de este trabajo de investigación, englobado en el Subproyecto SP-7 del proyecto global, 'Evaluación energética y análisis de la calidad del aire interior de los 5 contenedores – demostradores de investigación (C-DdI) desarrollados en el PSEARFRISOL, se monitoriza y analiza, en condiciones reales de uso, la calidad del aire interior de las edificaciones desarrolladas y de las condiciones de calidad sensitiva y salubridad no sensitiva para comprobar si son adecuadas. Para tal fin, se plantea el desarrollo de instrumentación y equipamiento para acometer y facilitar medidas cuantitativas fiables, en continuo, con sistemas de medida ágiles y correctamente validados, de manera que se abarate su costo y se aumente su rango inferior de aplicación.

Las investigaciones realizadas se acometen por considerar que los sistemas de medida actuales están mayoritariamente enfocados a la higiene industrial, diseñados para determinar concentraciones elevadas con una alta especificidad en los tipos de contaminantes; estos métodos pueden aplicarse al aire interior si se consideran varios factores: ajuste a los niveles de concentración habituales en el aire interior, aumento de sensibilidad sin reducir la precisión (por ejemplo, aumentando el volumen del aire ensayado) y validación de su especificidad [86], [106].

## 1.2. OBJETIVOS.

Partiendo de las premisas anteriores, el *objetivo general* de esta Tesis es el desarrollo, puesta a punto y validación de procedimientos experimentales para la determinación, caracterización y cuantificación de la carga contaminante de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) existentes en el interior de los cinco Contenedores–Demostradores de Investigación (CDI), considerados singulares por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), situados estratégicamente en diferentes puntos del territorio nacional.

Los *objetivos concretos* de este Estudio, se pueden desglosar en:

- *Selección de los contaminantes* más frecuentes en los entornos sujetos de estudio.
- *Determinación del método de muestreo*. Las primeras consideraciones a tener en cuenta, serán las necesidades y requerimientos del estudio, así como los emplazamientos objeto de análisis, logística con la que puede contar, viabilidad y comodidad para la toma de muestras.
- *Selección de la Metodología analítica*: Estudio bibliográfico de los distintos métodos analíticos empleados en determinación y cuantificación de VOCs en estudios similares.
- Ejecución del método de muestreo para la determinación de VOCs en el interior de los cinco Contenedores – Demostradores de Investigación (CDI), teniendo presente que estos CDI que serán destinados como espacio de trabajo y que su emplazamiento se extiende a lo largo de la península.

# 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

---

## 2.1. NECESIDAD DEL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EDIFICIOS.

El tiempo que se pasa en el interior de las viviendas, hoy día es cada vez es mayor oscilando entre el 60 y el 90% del tiempo. Para prevenir y controlar la contaminación del aire interior se han aplicado, en el mejor de los casos, métodos habituales utilizados en higiene industrial, siendo con frecuencia inapropiados o insuficientes para solucionar el problema. Además, no conocer el alcance del daño que la contaminación del aire interior puede representar para la salud puede suponer una seria dificultad para establecer medidas correctoras. Por ello, se precisan estudios más eficientes y válidos a este respecto.

### 2.1.1. SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO.

Desde comienzos de los años 70, y coincidiendo con el cambio de tendencia en la construcción de edificios, en los que se pasa de sistemas de extracción y ventilación natural, a sistemas centralizados con extracción mecánica [1], [7], [10]. se vienen refiriendo una serie de *síntomas diversos* como: dolores de cabeza, náuseas, somnolencia, tos seca, opresión torácica, eritema, congestión nasal, picor de ojos, etc., presentados por individuos que habitan de forma frecuente estos edificios, que no sufren una lesión orgánica, y que generalmente se diagnostican por exclusión. Cuando al menos un 20% de la población de ese edificio manifiesta un cuadro similar se habla del “Síndrome del edificio enfermo”.

Estos síntomas o situaciones, han sido clasificadas en cinco categorías [2]:

- Oculares: Lagrimeo, escozor y/o enrojecimiento de ojos.
- Vías respiratorias superiores: Sequedad de garganta, dolor, hemorragia nasal, estornudos en salva, rinorrea, congestión nasal, ronquera, sed.
- Pulmonares: Sensación de ahogo, pitidos, tos seca, presión torácica.
- Cutáneas: Picores generalizados, localizados, sequedad cutánea, enrojecimiento.
- Generales: Dolores de cabeza, dificultad para concentrarse, irritabilidad, náuseas, mareos, somnolencia, letargo.

La *sinomatología* debe estar siempre *en relación temporal* positiva con el edificio considerado como problema y desaparecer o mejorar sustancialmente al alejarse del mismo.

Resulta imposible determinar una causa concreta para este síndrome, hablándose más de causas multifactoriales lo que dificulta su eliminación. Según la OMS existen una serie de características comunes en los edificios enfermos [3]:

- Tienen un sistema de ventilación forzada de aire común para todo el edificio.
- Algunos edificios tienen la localización de la toma exterior de aire en lugares inadecuados, mientras que otros usan intercambiadores de calor que transfieren los contaminantes desde el aire de retorno al aire de suministro.
- Con frecuencia la calidad de la construcción es deficiente.
- Gran parte de las superficies interiores están recubiertas con material textil.
- Practican el ahorro energético y se mantienen en un ambiente homogéneo.
- Son edificios herméticos sin ventanas practicables.

Tradicionalmente, ligando más con conceptos de confort que de salud, se ha prestado una mayor atención a factores como la temperatura interior o la humedad relativa que tienen mucho que ver con la proliferación de elementos patógenos poco considerados hasta ahora y que merecen por si mismos un apartado posterior. Otros factores a reseñar son:

- Temperatura, movimiento del aire y humedad. Los ambientes interiores deben tener unas condiciones higrotérmicas adecuadas para el uso del local, las características del mismo y las personas que lo ocupen. No se pueden aplicar condiciones estándar para todos los locales ni actividades, ni reducir la adecuación interior al control de la temperatura. La confortabilidad de un local es el resultado de una amplia combinación de factores. Sin embargo, es necesario resaltar que las quejas más generalizadas, junto con los olores, provienen de las condiciones termohigrométricas lo que propicia una búsqueda de condiciones constantes. Esta estabilidad en el tiempo, puede ser el origen de crecimientos de microorganismos que deben ser detectados y eliminados antes de que generen daños a la salud.
- Olores. Suponen otra fuente importante de quejas que pueden generar ansiedad y estrés cuando sus fuentes no están identificadas. Una unidad de medida recientemente introducida es el *OLF* con la que se pretende cuantificar niveles de contaminación tal como los percibe el ser humano. Así, se define un *OLF* como la intensidad con que emite bioefluentes (contaminantes) una persona media, sedentaria y en situación de confort térmico. Mientras que un *DECIPOL* es la contaminación ambiental generada por una persona estándar, pero teniendo en cuenta un aporte de 10 l/s de aire no contaminado [3].
- Sistema de distribución de energía adecuado [4]. No sólo son necesarios que se cumplan unos ciertos parámetros térmicos, también es preciso que la energía se

distribuya siguiendo unos patrones que den lugar a un gradiente térmico óptimo, a la eliminación de la asimetría radiante excesiva y a un ritmo de variación de temperatura discreta. Los sistemas de convección, sobre todo el aire acondicionado, crean un gradiente térmico poco adecuado, a diferencia del suelo radiante que casi reproduce el perfil perfecto. Las paredes excesivamente calurosas o frías, como por ejemplo un techo radiante o con un número elevado de lámparas halógenas, o un gran ventanal, crean asimetría radiante con otros paramentos, y generan incomfortabilidad. Los sistemas de encendido o apagado todo - nada, cuando se mueve en un rango amplio, provocan igualmente incomfortabilidad, al crear un ritmo de variación de temperatura excesivo: Suelos radiantes y sistemas de regulación modular.

Los campos eléctricos o electromagnéticos, ya sean naturales o artificiales, pueden ser causas de molestias o enfermedades [4]. Debe eliminarse el riesgo creando espacios protegidos.

- Campos eléctricos: Es saludable mantener un campo eléctrico próximo al natural en el interior de los edificios; por ello, deben evitarse las estructuras que conviertan las construcciones en jaulas de Faraday. Un muro de hormigón como cerramiento vertical, unido a los mallazos que ya existirán en los forjados, convierte al edificio en una jaula de Faraday, con un campo eléctrico nulo. Una instalación eléctrica antigua, sin una correcta puesta a tierra y con problema en el aislamiento de los cables, genera, igualmente campos eléctricos desaconsejables. [13]
- Campos electromagnéticos: Los campos electromagnéticos pueden verse alterados por causas naturales, fallas del terreno, o artificiales, proximidad al tendido de alta tensión, debiendo evitarse ambas. En el interior de los edificios, las resistencias eléctricas serán causa de campos electromagnéticos fuertes: ordenadores, televisiones, cocinas vitrocerámicas de inducción, lámparas halógenas, etc. No obstante son las fuentes exteriores las más problemáticas. Los tendidos de alta y de media tensión, como causas artificiales, y las fallas tectónicas como causas naturales, son el origen de campos electromagnéticos elevados [14], [15].

Una adecuada iluminación natural con contrastes suficientes y evitando los deslumbramientos reducirá la irritación de ojos, el estrés visual y el dolor de cabeza. Desde el punto de vista estético y de confort resulta interesante captar exclusivamente radiación difusa, en este sentido interesa instalar dispositivos de transformación de la radiación directa en difusa, así como dispositivos de distribución uniforme de la luz por la habitación. Si penetra radiación directa en zonas donde se pretende aprovechar como iluminación natural, los efectos de deslumbramiento que conllevará serán muy negativos. La falta de luz natural está muchas veces en el

origen de quejas inicialmente relacionadas con una pobre calidad del aire. Algunos autores señalan la frecuencia de parpadeo de los fluorescentes como causa de molestias [2].

Problemas relacionados con fatiga crónica, dolor muscular, problemas de circulación, etc., pueden tener que ver con factores ergonómicos que son objeto de una nueva disciplina de reciente aparición.

Finalmente, tienen mucho que ver con la manera de encarar el síndrome, los factores psicosociales relacionados con el trabajo que se realiza, las expectativas laborales, y la integración social que rodea a la persona que le sufre.

### 2.1.2. CALIDAD DEL AIRE EN EDIFICIOS

La conexión entre el uso de un edificio como lugar de trabajo o vivienda y la aparición, en algunos casos, de molestias y síntomas que responden a la definición de una enfermedad es un hecho que ya no puede cuestionarse. *La principal responsable* es la contaminación de diversos tipos presente en el edificio, que suele denominarse "*mala calidad del aire en interiores*". Los efectos adversos debidos a esa deficiente calidad del aire en espacios cerrados afecta a muchas personas, ya que se ha demostrado que los habitantes de las ciudades pasan entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un ambiente interior que se encuentra contaminado en mayor o menor grado. Es un problema que se ha visto agravado por la construcción de edificios diseñados para ser más herméticos y que reciclan el aire con una proporción menor de aire fresco procedente del exterior con el fin de aumentar su rentabilidad energética. Actualmente se acepta de forma general que los edificios que carecen de ventilación natural presentan riesgo de exposición a contaminantes.

El término *aire interior* suele aplicarse a ambientes de interior no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, hospitales, teatros, restaurantes, etc.) y viviendas particulares [17], [21]. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior de estas estructuras suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente al aire exterior, y mucho menores que las existentes en el medio ambiente industrial, donde se aplican normas relativamente bien conocidas con el fin de evaluar la calidad del aire. Aun así, muchos ocupantes de edificios se quejan de la calidad del aire que respiran, por lo que es necesario investigar esta situación. La calidad del aire interior comenzó a considerarse un problema a finales del decenio de 1960, aunque los primeros estudios no se llevaron a cabo hasta unos diez años después [26], [29].

Aunque parecería lógico pensar que para que la calidad del aire sea buena, éste debe contener los componentes necesarios en proporciones apropiadas, en realidad es a través del usuario (de su respiración), cómo mejor puede valorarse su calidad [22].

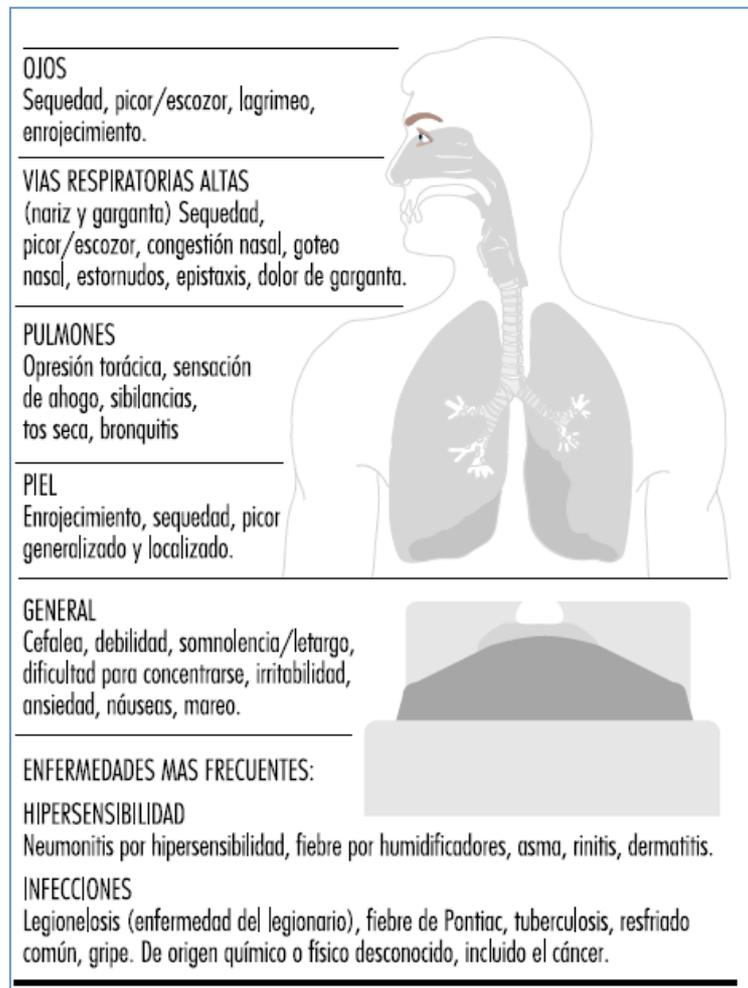
La razón está en que el aire inhalado se percibe perfectamente a través de los sentidos, ya que el ser humano es sensible a los efectos olfativos e irritantes de cerca de medio millón de compuestos químicos. Por consiguiente, si los ocupantes de un edificio están todos satisfechos con el aire, se dice que éste es de alta calidad, y de mala calidad si sucede lo contrario.

¿Significa esto que es posible predecir cómo se percibirá el aire a partir su composición? Sí, pero sólo en parte. Es un método que puede aplicarse a de ambientes industriales, donde los compuestos químicos específicos relacionados con la producción se conocen, se determinan sus concentraciones y se comparan con valores límite umbral. Pero en edificios no industriales donde puede haber millares de sustancias químicas en el aire pero en concentraciones tan bajas que, quizá, sean miles de veces menores que los límites establecidos para el medio ambiente industrial, la situación es diferente [46], [47]. En la mayoría de estos casos la información sobre la composición química del aire interior no nos permite predecir cómo se percibirá el aire, ya que el efecto conjunto de miles de estos contaminantes, junto con la temperatura y la humedad, pueden producir un aire que se percibe como irritante, viciado o enrarecido, es decir, de mala calidad. Algo parecido sucede con la composición detallada de un alimento y su sabor: el análisis químico es insuficiente par a predecir si el alimento tendrá un sabor bueno o malo. Por este motivo, cuando se planifica un sistema de ventilación y su mantenimiento periódico, rara vez se requiere un análisis químico exhaustivo.

Existe otro punto de vista que considera a las personas comoúnica fuente de contaminación del aire interior. Y no sería equivocado si estuviéramos tratando con materiales de construcción, muebles y sistemas de ventilación como los utilizados hace 50 años, cuando predominaban el ladrillo, la madera y el acero. Ahora bien, con *los materiales modernos* la situación ha cambiado. Todos los materiales *generan contaminación*, unos en pequeña y otros en gran cantidad, y juntos contribuyen al deterioro de la calidad del aire interior [59], [64], [65].

Los cambios en el estado de salud de una persona debidos a la mala calidad del aire interior pueden manifestarse en diversos síntomas agudos y crónicos así como en forma de diversas enfermedades específicas. Todos ellos se ilustran en la Figura 1. Aunque los casos en que la mala calidad del aire interior da lugar al desarrollo completo de una enfermedad son pocos, puede causar malestar, estrés, absentismo laboral y pérdida de productividad (con aumentos paralelos de los costes de producción) [27], [28]; además, las acusaciones sobre problemas relacionados con

los edificios pueden generar rápidamente un conflicto entre los ocupantes, sus empresas y los propietarios de los edificios.



**Figura 1.-** Síntomas y enfermedades relacionados con la calidad del aire interior. [Tomado de "Encilopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo". Cap 44. Xabier Guardino Solá (Coord. Cap.) Madrid 2001].

Por lo común *resulta difícil establecer con precisión en qué medida la mala calidad del aire interior puede afectar a la salud, ya que no se dispone de suficiente información* con respecto a la relación entre la exposición y el efecto a las concentraciones a las que suelen estar presentes los contaminantes. Por tanto, es necesario obtener información en condiciones de dosis elevadas (como las de las exposiciones en el entorno industrial) y extrapolarla a dosis mucho más bajas con el margen de error correspondiente. Por otro lado, aunque se conocen bien los efectos de la exposición aguda a muchos contaminantes presentes en el aire, existen importantes lagunas en los datos relativos a las exposiciones a largo plazo a concentraciones bajas y a mezclas de diferentes contaminantes. Los conceptos de nivel sin efecto (NSE), efecto nocivo y efecto tolerable, confusos incluso en el ámbito de la toxicología industrial, son aquí aún más difíciles de definir. Se han realizado

pocos estudios concluyentes sobre este tema, tanto relativos a edificios públicos y oficinas como a viviendas particulares [45], [47].

Existen *normas para la calidad del aire en el exterior* establecidas con el fin de proteger a la población general. Se han obtenido determinando los efectos adversos sobre la salud, debidos a la exposición a contaminantes en el medio ambiente [52], [53], [54]. Son útiles como directrices generales para conseguir una calidad aceptable del aire interior; las propuestas por la Organización Mundial de la Salud son un ejemplo de estas normas. Se han establecido criterios técnicos [como el valor límite umbral de la conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) de Estados Unidos y los valores límite legalmente establecidos para ambientes industriales en diferentes países, para los trabajadores adultos y para duraciones específicas de exposición que, por lo tanto, no pueden aplicarse directamente a la población general. La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, ASHRAE) de Estados Unidos ha elaborado una serie de *normas y recomendaciones*, muy utilizadas *para la valoración de la calidad del aire interior* [37], [38], [43].

Otro aspecto que debe considerarse como parte de la calidad del aire interior es su olor, ya que éste suele ser el parámetro definitorio. La combinación de un cierto olor con el leve efecto irritante de un compuesto en el aire dentro de un **espacio cerrado** puede conducirnos a definir su calidad como “fresca” y “limpia” o como “viciada” y “contaminada”. Por consiguiente, el olor es muy importante al definir la calidad del aire interior. Aunque los olores dependen objetivamente de la presencia de compuestos en cantidades superiores a sus umbrales olfativos, a menudo se evalúan desde un punto de vista estrictamente subjetivo. Debe tenerse en cuenta que la percepción de un olor puede deberse a los olores de numerosos compuestos diferentes y que la temperatura y la humedad también pueden modificar sus características. Desde el punto de vista de la percepción, son cuatro las características que nos permiten definir y medir los olores: intensidad, calidad, tolerabilidad y umbral. Con todo, es muy difícil “medir” los olores desde un punto de vista químico en el aire interior. Por esa razón la tendencia es eliminar los olores “malos” y utilizar, en su lugar, los considerados buenos, con el fin de dar al aire una calidad agradable. El enmascaramiento de los malos olores con otros agradables suele fracasar, ya que pueden reconocerse por separado olores de muy diferentes calidades, y el resultado es imprevisible.

En los últimos años, el conocimiento de los contaminantes presentes en el aire interior y de los factores que contribuyen al deterioro de su calidad ha avanzado de forma considerable, aunque queda todavía mucho camino por recorrer. Los estudios

realizados en los últimos 20 años han demostrado que la presencia de contaminantes en muchos ambientes de interior es superior a la prevista y, además, se han identificado contaminantes diferentes a los presentes en el aire exterior. Lo cual contradice la suposición de que los interiores sin actividad industrial carecen hasta cierto punto de contaminantes y que, en el peor de los casos, su composición podría ser equivalente a la del aire libre. Los contaminantes como el radón y el formaldehído se identifican casi exclusivamente en el medio ambiente interior [39], [41].

La calidad del aire interior, incluida la de las viviendas, se ha convertido en un problema de salud ambiental, como el control de la calidad del aire en el exterior o la exposición en el trabajo. Ahora bien, ya se ha comentado que una persona residente en un área urbana pasa entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un medio ambiente de interior, y las personas más susceptibles (esto es, los ancianos, los niños pequeños y los enfermos) son las que más tiempo están en esas condiciones. Es un asunto que comenzó a preocupar a partir de 1973 cuando, debido a la crisis energética, los esfuerzos dirigidos a la conservación de energía se concentraron en la reducción de la entrada del aire exterior a los espacios interiores en la mayor medida posible, con el fin de disminuir los costes de calefacción y refrigeración de los edificios. Aunque no todos los problemas relacionados con la calidad del aire interior son consecuencia de medidas en materia de ahorro de energía, es evidente que conforme fue generalizándose ese principio, comenzaron a aumentar las quejas sobre la calidad del aire interior y a surgir todos los problemas.

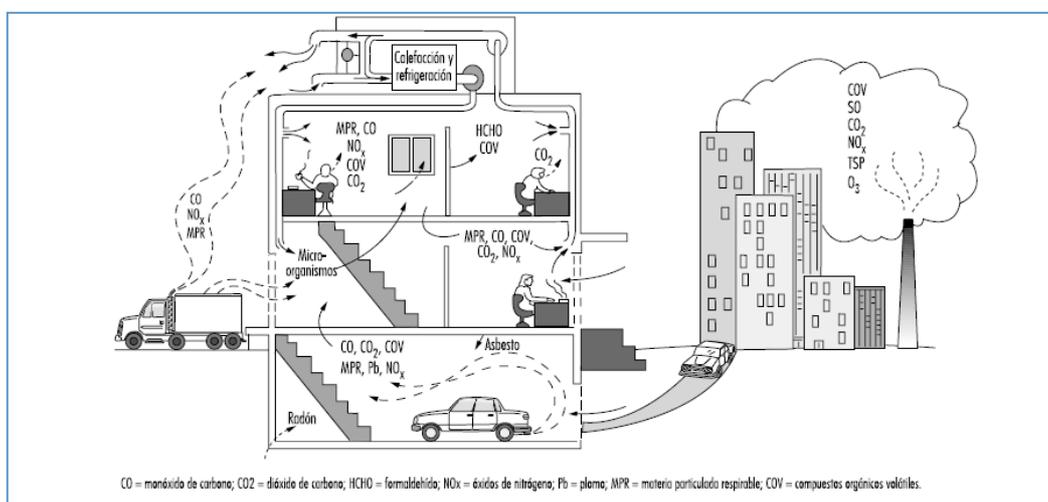
Otro asunto que merece especial atención es la presencia de microorganismos en un ambiente de aire interior, lo que puede causar problemas de carácter infeccioso y alérgico. No debe olvidarse, que los microorganismos son un componente normal y esencial de los ecosistemas [50], [87], [88].

Por ejemplo, en el suelo y en la atmósfera suelen hallarse diversos hongos y bacterias saprófitos que se nutren de materia orgánica muerta del medio ambiente, los cuales se han detectado también en el medio ambiente de interiores. Los problemas de contaminación biológica en interiores han sido objeto de interés en los últimos años. El brote de enfermedad del legionario de 1976 es el caso que más ha llamado la atención, de una enfermedad causada por un microorganismo en el medio ambiente de interiores. Otros agentes infecciosos como los virus, que pueden causar enfermedades respiratorias agudas, también son detectables en interiores, especialmente si la densidad de ocupación es alta y existe una recirculación de aire importante. En realidad, no se conoce en qué medida los microorganismos o sus componentes están implicados en la aparición de enfermedades asociadas a los edificios. Se han desarrollado protocolos (sólo en cierta medida) para demostrar y

analizar numerosos tipos de agentes microbianos, y aún así, la interpretación de los resultados es en ocasiones incoherente.

### 2.1.3. Aspectos del sistema de ventilación.

La calidad del aire interior en un edificio depende de una serie de variables, como la calidad del aire del exterior, el diseño del sistema de ventilación y acondicionamiento del aire, las condiciones en que opera y se mantiene este sistema, la división en compartimentos del edificio y las fuentes interiores de contaminantes y su magnitud (véase Figura 2). En suma, puede afirmarse que los defectos más frecuentes son consecuencia de una ventilación inadecuada, de la contaminación generada en el interior y de la procedente del exterior [1].



**Figura 2.-** Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminantes de interior y de exterior.  
[Tomado de Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Cap 44. Xabier Guardino Solá (Coord. Cap.) Madrid. 2001].

Con respecto al primero de estos problemas, las causas de ventilación inadecuada pueden ser: una entrada insuficiente de aire fresco debido a un nivel alto de recirculación del aire o a un bajo volumen de entrada; la colocación y orientación incorrectas en el edificio de los puntos de entrada del aire exterior; una distribución deficiente y, en consecuencia, una mezcla incompleta con el aire del edificio, lo que puede originar estratificación, zonas no ventiladas, diferencias de presión no previstas que originan corrientes de aire y cambios continuos en las características termohigrométricas (que advierte el ocupante al moverse por el edificio) y filtración incorrectas del aire debida a la falta de mantenimiento o a un diseño inadecuado del sistema de filtrado (una deficiencia particularmente grave cuando el aire exterior es de mala calidad o cuando el nivel de recirculación es elevado).

#### 2.1.4. Origen de los contaminantes.

La contaminación en el interior tiene diferentes orígenes: los propios ocupantes, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos normales (plaguicidas, desinfectantes, productos de limpieza y encerado); los gases de combustión (procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios); y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunde hacia áreas vecinas, afectándolas. Téngase en cuenta que las sustancias emitidas en el aire interior tienen muchas menos oportunidades de diluirse que las emitidas en el aire exterior debido a las diferencias de volumen de aire disponible. En lo que respecta a la contaminación biológica, su origen se debe fundamentalmente a la presencia de agua estancada, de materiales impregnados con agua, gases, etc., y a un mantenimiento incorrecto de los humidificadores y las torres de refrigeración [86], [112], [117].

Por último, debe considerarse también la contaminación procedente del exterior. Con respecto a la actividad humana, hay tres fuentes principales: la combustión en fuentes estacionarias (centrales energéticas), la combustión en fuentes móviles (vehículos) y los procesos industriales. Los cinco contaminantes más importantes emitidos por estas fuentes son: el monóxido de carbono, los óxidos de azufre, de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles (incluidos los hidrocarburos), los hidrocarburos aromáticos policíclicos y las partículas. La combustión interna de los vehículos es la principal fuente de monóxido de carbono e hidrocarburos y una fuente importante de óxidos de nitrógeno. La combustión en fuentes estacionarias es el principal origen de los óxidos de azufre. Los procesos industriales y las fuentes estacionarias de combustión generan más de la mitad de las partículas emitidas al aire por la actividad humana, y los procesos industriales pueden ser fuente de compuestos orgánicos volátiles [34], [36]. También hay contaminantes generados de forma natural propulsados a través del aire, como las partículas de polvo volcánico, la sal de suelo y de mar, las esporas y los microorganismos. La composición del aire exterior varía de un lugar a otro, en función de la presencia y la naturaleza de las fuentes de contaminación circundantes y de la dirección del viento predominante. En el aire exterior "limpio" (sin fuentes de contaminación) suele hallarse la siguiente concentración de contaminantes:

- dióxido de carbono, 320 ppm;
- ozono, 0,02 ppm;
- monóxido de carbono, 0,12 ppm;
- óxido nítrico, 0,003 ppm;
- dióxido de nitrógeno, 0,001 ppm.

Ahora bien, estos valores aumentan notablemente en el aire urbano.

Al margen de los contaminantes generados en el exterior, en ocasiones ocurre que el aire contaminado procedente del edificio sale al exterior y penetra de nuevo a través de las entradas del sistema de aire acondicionado. O bien se infiltra a través de los cimientos del edificio (p. ej., el radón, los gases de combustibles, los efluvios de las alcantarillas, los fertilizantes, los insecticidas y desinfectantes). Se ha observado que cuando aumenta la concentración de un contaminante en el aire exterior, lo hace también en el interior, aunque de forma más lenta (la relación es similar cuando la concentración disminuye); por consiguiente, puede afirmarse que los edificios ejercen un efecto de escudo frente a los contaminantes externos. Con todo, el medio ambiente del interior de un edificio no es, naturalmente, un reflejo exacto de las condiciones del exterior.

Los contaminantes presentes en el aire interior se diluyen en el aire exterior que entra en el edificio y lo acompañan al salir. Cuando la concentración de un contaminante es menor en el aire del exterior que en el del interior, el intercambio de ambos causará la reducción de la concentración del contaminante en el aire interior del edificio. Si un contaminante se origina en el exterior y no en el interior, ese intercambio producirá un aumento de su concentración en el interior, como se comentó anteriormente.

Los modelos para el equilibrio de las cantidades de contaminantes en el aire interior se basan en el cálculo de su acumulación, en unidades de masa con respecto al tiempo, a partir de la diferencia entre la cantidad que entra más la que se genera en el interior, y la que sale con el aire más la que se elimina por otros medios. Si se dispone de valores apropiados para cada uno de los factores de la ecuación, podrá estimarse la concentración en el interior para varias condiciones. El uso de esta técnica permite comparar las diferentes alternativas de control de la contaminación en interiores [44], [46].

Los edificios con bajas tasas de intercambio con el aire exterior se clasifican como estancos o energéticamente eficaces. Y este último calificativo se debe a que en invierno entra en ellos menos aire frío, reduciendo la energía necesaria para calentar el aire hasta la temperatura ambiente, recortando así los costes de calefacción. A la par, cuando hace calor, también se utiliza menos energía para enfriar el aire. Los edificios que no tienen estas características se ventilan abriendo puertas y ventanas por un proceso natural. Ahora bien, aun estando cerradas, las diferencias de presión debidas al viento y al gradiente térmico existente entre el interior y el exterior, fuerzan la entrada del aire a través de las grietas y hendiduras, de las juntas de ventanas y puertas, de las chimeneas y de otras aberturas, lo que origina la denominada ventilación por infiltración.

La ventilación de un edificio se mide en renovaciones por hora. Una renovación por hora significa que cada hora entra desde el exterior un volumen de aire igual al volumen del edificio; de la misma forma, cada hora se expulsa al exterior un volumen similar de aire interior. Si no hay ventilación forzada (con un ventilador), este valor es difícil de determinar, aunque se considera que varía entre 0,2 y 2,0 renovaciones por hora. Si los otros parámetros no varían, la concentración de contaminantes generados en el interior será menor en edificios con valores elevados de renovación, aunque estos valores no son una garantía de calidad del aire interior. Salvo en áreas con una contaminación atmosférica considerable, los edificios más abiertos tienen una concentración de contaminantes menor en el aire interior que los construidos más herméticamente. Con todo, los edificios más abiertos tienen menor eficacia energética y el dilema entre la eficacia energética y la calidad del aire tiene gran importancia [23], [24], [25].

Muchas de las medidas para reducir los costes de energía afectan a la calidad del aire interior en mayor o menor grado. Además de reducir la velocidad con la que el aire circula dentro del edificio, los esfuerzos para aumentar el aislamiento y la impermeabilidad de éste requieren la instalación de materiales que pueden ser fuentes de contaminación en el interior. Otra medida, como añadir a los viejos sistemas de calefacción central, a menudo ineficaces, fuentes secundarias que calientan o consumen el aire interior pueden elevar también los niveles de contaminación en el interior.

Entre los contaminantes más habituales en el aire interior se encuentran, aparte de los procedentes del exterior, los metales, el amianto y otros materiales fibrosos, el formaldehído, el ozono, los plaguicidas y los compuestos orgánicos en general, el radón, el polvo doméstico y los aerosoles biológicos [51]. A ellos se añade una amplia variedad de microorganismos, como los hongos, las bacterias, los virus y los protozoos, de los cuales los hongos y las bacterias saprófitos son los que mejor se conocen, probablemente debido a que se dispone de la tecnología necesaria para medirlos en el aire [56]. No puede decirse lo mismo de los virus, las rickettsias, las clamidias, los protozoos y muchos hongos y bacterias patógenos, para cuyo muestreo y recuento no se dispone todavía de la metodología apropiada. Entre los agentes infecciosos merecen especial mención los siguientes: *Legionellapneumophila*, *Mycobacteriumavium*, *virus*, *Coxiellaburnetiie* *Histoplasma-capsulatum*; y entre los alérgenos: *Cladosporium*, *Penicillium* y *Cytophaga*.

#### 2.1.5. Investigación de la calidad del aire en los interiores.

La experiencia indica que las técnicas tradicionales utilizadas en la higiene industrial y en la calefacción, la ventilación y el acondicionamiento del aire no siempre proporcionan resultados satisfactorios para resolver los problemas actuales, ni aún

los más comunes, en materia de calidad del aire interior, aunque el conocimiento básico de estas técnicas permite una buena aproximación para tratar o reducir los problemas de forma rápida y barata. La solución a los problemas de la calidad del aire interior requiere a menudo, además de uno o más expertos en calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire e higiene industrial, de especialistas en el control de la calidad del aire interior, en química analítica, en toxicología, en medicina ambiental, en microbiología, en epidemiología y en psicología.

Cuando se realiza un estudio sobre la calidad del aire interior, los objetivos establecidos influirán profundamente en su diseño y en las actividades dirigidas a la toma de muestras y la evaluación, ya que en algunos casos se primarán los procedimientos que proporcionen una respuesta rápida, mientras que en otros serán los valores globales. La duración del programa estará dictada por el tiempo necesario para obtener muestras representativas, y dependerá también de la estación y de las condiciones meteorológicas. Si el objetivo es realizar un estudio de exposición y efecto, además de muestras a largo y corto plazo para evaluar picos, será necesario tomar muestras personales para confirmar la exposición directa de las personas.

Para algunos contaminantes existen métodos validados y muy utilizados, pero sólo son unos pocos. Las técnicas para medir los niveles de muchos de los contaminantes presentes en interiores normalmente están basadas en aplicaciones de higiene industrial; pero dado que las concentraciones que nos interesan en el aire interior suelen ser mucho menores que las presentes en ambientes industriales, esos métodos suelen ser inadecuados. En los métodos de medición de la contaminación atmosférica se utilizan márgenes de concentraciones similares, pero son pocos los contaminantes a los que pueden aplicarse; además, el uso de estos métodos en el aire interior presenta dificultades: por ejemplo, un instrumento de muestreo de gran volumen para determinar partículas no sólo sería demasiado ruidoso, sino que podría modificar la propia calidad del aire interior [9], [73], [74], [75].

En la determinación de contaminantes en el aire interior se utilizan diferentes procedimientos: monitores continuos e instrumentos de muestreo (activos de tiempo completo, pasivos de tiempo completo, directos y personales) [78], [82]. Actualmente existen procedimientos adecuados para medir los niveles de formaldehído, de óxidos de carbono y nitrógeno, de compuestos orgánicos volátiles y de radón, entre otros. Los contaminantes biológicos se determinan mediante técnicas de sedimentación en placas de cultivo abiertas; actualmente se utilizan cada vez más los sistemas activos que hacen que el aire choque contra una placa con nutrientes que se cultivan posteriormente. La cantidad de microorganismos presentes se expresa en unidades de formación de colonias por metro cúbico.

Al investigar un problema de calidad del aire interior de un edificio suele elaborarse previamente una estrategia práctica que consiste en una aproximación en fases. La primera, la investigación inicial, puede realizarse utilizando técnicas de higiene industrial y debe estructurarse de forma que el investigador no necesite ser un especialista en el campo de la calidad del aire interior. Se lleva a cabo una inspección general del edificio y se comprueban sus instalaciones, en particular las que afectan a la regulación y al funcionamiento correcto del sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire, de acuerdo con las normas establecidas en el momento de su instalación. Es importante a este respecto considerar si las personas afectadas son capaces de modificar las condiciones de su entorno. Si el edificio no tiene sistemas de ventilación forzada, debe estudiarse el grado de eficacia de la ventilación natural de la que dispone.

Si después de su revisión (y ajuste en caso necesario), las condiciones de funcionamiento de los sistemas de ventilación cumplen las normas, y aun así continúan las quejas, deberá llevarse a cabo una investigación técnica de tipo general para determinar el grado y la naturaleza del problema. La investigación inicial también debe permitir una valoración de si los problemas han de considerarse únicamente desde el punto de vista del edificio, o si será necesaria la intervención de especialistas en higiene, psicología y otras disciplinas. Si el problema no se identifica y resuelve en esta primera fase, hay otras posteriores en las que se realizan investigaciones más especializadas que se ocupan de los problemas potenciales identificados en la primera fase. Tales investigaciones pueden incluir un análisis más detallado del sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire del edificio, una evaluación más amplia de los materiales de los que se sospecha que emiten gases y partículas, un análisis químico detallado del aire ambiente en el edificio y evaluaciones médicas o epidemiológicas para detectar síntomas de enfermedad.

En lo que respecta al sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire, debe revisarse el equipo de refrigeración para comprobar la ausencia de crecimiento microbiano y de acumulación de agua en sus bandejas de goteo, deben comprobarse las unidades de ventilación para verificar que funcionan correctamente, deben examinarse los sistemas de entrada y retorno del aire en varios puntos para comprobar su hermeticidad, y debe comprobarse el interior de los conductos suficientemente como para confirmar que no hay microorganismos. La última consideración es fundamental cuando se utilizan humidificadores, aparatos que requieren programas de mantenimiento, funcionamiento e inspección especialmente meticulosos con el fin de prevenir el crecimiento de microorganismos, los cuales pueden propagarse a través del sistema de aire acondicionado.

Las medidas que suelen adoptarse por lo común para mejorar la calidad del aire interior de un edificio son: la eliminación de la fuente, su aislamiento o ventilación independiente, la separación entre la fuente y las personas a las que afecta, la limpieza general del edificio y un mayor nivel de comprobación y mejora del sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire. Lo cual puede implicar desde modificaciones en puntos concretos hasta un nuevo diseño. El proceso suele ser repetitivo, por lo que el estudio debe reiniciarse varias veces, utilizando técnicas más avanzadas en cada ocasión.

Por último, es de destacar que ni aun con las investigaciones más completas sobre la calidad del aire interior es posible establecer una relación clara entre las características y la composición del aire interior y la salud y el bienestar de sus ocupantes. Sólo la experiencia, por un lado, y el diseño racional de la ventilación, de la ocupación y de la división en compartimentos de los edificios, por el otro, son posibles garantías desde un principio de que la calidad del aire interior será adecuada para la mayoría de sus ocupantes.

#### 2.1.6. EDIFICIOS BIOCLIMÁTICOS Y CALIDAD DEL AIRE.

La creciente preocupación ambiental relacionada con cambios globales generalizados y fácilmente reconocibles por la opinión pública: “cambio climático, lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, etc.”, está sustentada en continuos incrementos de los consumos de energía que ponen en entredicho el funcionamiento mismo del sistema productivo a largo plazo.

La arquitectura no ha sido ajena a este desarrollo, incorporando nuevos materiales y formas constructivas que han variado significativamente los diseños arquitectónicos y urbanísticos en los últimos 30 años. En este rápido cambio se ha pretendido economizar el espacio, apostando por un crecimiento en altura y un ahorro energético, centralizando sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción, y acuñando el pomposo nombre de “edificio inteligente”. Han surgido así, nuevos retos y problemas: “Sostenibilidad, eficiencia energética, síndrome del edificio enfermo, etc.” que demandan ideas innovadoras capaces de dar respuesta a un incesante incremento en las demandas de energía, pero también de salud y calidad de vida.

La arquitectura bioclimática interpretada y propuesta como un hábito de racionalidad ante este panorama, plantea por la importancia de sus efectos, tres grandes bloques para su análisis:

- ASPECTOS ENERGÉTICOS: vinculados a los consumos de materias primas y de racionalidad económica/ecológica.

- CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR: condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire, etc.
- CONTAMINACIÓN Y MEDIO AMBIENTE: vinculados a las sustancias desprendidas al exterior, el impacto del asentamiento y el desarrollo sostenible.

En este trabajo de investigación nos centraremos específicamente en el segundo apartado: *Calidad del ambiente en el interior de edificios*.

Actualmente existen en España entre quinientos y mil edificios diseñados siguiendo las técnicas bioclimáticas. En pocos se ha analizado energéticamente su comportamiento en condiciones reales de uso. Catorce han sido estudiados por la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación (UiE3) del Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales (CIEMAT) desde el año 1988. Aunque en ninguno se ha analizado cual es la calidad del aire interior, lo cual es el objeto que se contempla en este trabajo de investigación.

#### 2.1.7. CONTAMINANTES QUÍMICOS OBJETOS DE ESTUDIO. LOS VOC's.

Un papel fundamental en la contaminación atmosférica tanto interior como exterior lo juegan los denominados Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs), entre ellos los señalados en la Tabla I (benceno, tolueno, xileno, etilbenceno, TMB, etc.). El término VOCs define aquellos compuestos orgánicos normalmente líquidos, pero que por su alta presión de vapor están presentes en la atmósfera. Así estos compuestos se encuentran en la atmósfera altamente dispersos y en muy bajas concentraciones. Incluyen una amplia variedad de compuestos entre los que se encuentran hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos orgánicos y alcoholes [40], [42].

Según la Agencia de Protección del Medio Ambiente Norteamericana (EPA), cualquier compuesto orgánico se considera como un posible VOC, a no ser que se indique expresamente lo contrario. En esta última clasificación se tendrían en cuenta fundamentalmente criterios de peligrosidad y toxicidad para el medio ambiente, principalmente su condición de jugar un papel como precursores de ozono (O<sub>3</sub>). En la Tabla I se representan los VOC's más comunes en relación con la problemática ambiental.

**Tabla I.** VOC's más habituales considerados como contaminantes:

Benceno
Tolueno
Xileno
Alcohol isopropílico
Glicoles
Destilados del petróleo, naftas, alcoholes
Metiletilcetona (MEK)
Acetona
Parafinas
Olefinas
Cloroderivados

Los VOC's se encuentran presentes en los distintos ecosistemas a los que se han incorporado principalmente como resultado de actividades humanas tanto industriales como domésticas. En función de su uso práctico se les agrupa según la Tabla II.

Los VOC's no incorporados a los productos, reciclados o incinerados, mediante vertidos o derrames (intencionados o no) que llegan hasta el medio acuático, el suelo y finalmente a la atmósfera. Su procedencia es muy diversa, se generan en la emisión producida por los motores de los automóviles, la evaporación producida en procesos industriales, refinerías de petróleo, en el almacenamiento y distribución del petróleo, en contenedores de residuos, en la fabricación de alimentos y en actividades relacionadas con la agricultura, así como debidos a vertidos accidentales, procesos de lixiviación no controlados, enterramientos inadecuados de lodos de depuradoras, emisión de efluentes no depurados, en ruinas industriales o emplazamientos donde se realizaron actividades industriales, etc [55], [57]. En los medios acuáticos y en el suelo, los VOC's pueden degradarse total o parcialmente y también por su elevada fugacidad pueden emitirse fácilmente al medio atmosférico, que constituye el sumidero final de estas sustancias.

**Tabla II.** Clasificación de los VOC's en función de su aplicabilidad práctica:

Agentes de limpieza
Agentes ignífugos
Combustibles
Conservantes
Desengrasantes
Disolventes
Dispersantes
Monómeros
Propelentes
Reactivos
Otros

Estudiando los VOC's en ambientes exteriores a través del análisis de datos recogidos por varias agencias en 300 ciudades de Estados Unidos se encontró que cerca del 50% de los compuestos orgánicos se encontraban en un rango de concentración entre 0.001 y 1 ppbv. Una fracción considerable mostraba concentraciones inferiores a 0,001 ppbv., y en el 10 % de los casos la concentración excedía de 1ppbv. De entre los 66 compuestos potencialmente más tóxicos sólo 10 mostraban concentraciones medias diarias superiores a 1 ppbv. Resultaron particularmente abundantes el formaldehído, ácido fórmico, 2-propanol, propanol y fenol, con concentraciones entre 4 y 8 ppbv. Benceno, acetaldehído, 1,3-dimetilbenceno y butanol se encontraron en concentraciones de aproximadamente 1,5 ppbv., y el 1,3-butadieno con concentración algo superior a 0,3 ppbv. Comparando estos datos con los de ambientes interiores se encontró que la concentración de muchos compuestos era mayor en estos últimos, y por tanto puede decirse que la contaminación de ambientes interiores es potencialmente más peligrosa a la hora de causar enfermedades. No obstante, la exposición en atmósferas exteriores e interiores no son las únicas vías a través de las cuales los compuestos orgánicos tóxicos pueden entrar en el cuerpo. Así, la ingestión de agua o comida y el contacto dérmico con materias en las que haya tóxicos disueltos son importantes para determinar la cantidad neta absorbida, por lo que hay que tener cuidado a la hora de establecer correlaciones entre exposición atmosférica a VOC's y enfermedad humana [31], [32], [33].

La atención normativa, se ha centrado principalmente en reducir las emisiones de benceno y otros aromáticos porque estos son los compuestos más tóxicos en la atmósfera (efectos carcinógenos, mutagénicos y teratogénicos). Estos compuestos resultan de la emisión de vehículos en gran medida: en algunos países ésta es responsable del 50% del benceno, tolueno y alquilbencenos presentes en el aire exterior que como ya hemos visto repercutirá sobre el interior. Los efectos de la acumulación de VOC's en la atmósfera no son sólo el riesgo carcinógeno, mutagénico y teratogénico, sino que también se ha asociado la irritación de ojos y vías respiratorias a la presencia en el aire de ciertos compuestos: formaldehído, acroleína y, en menor medida, acetaldehído, son conocidos como irritantes oculares. Para el formaldehído los efectos irritativos empiezan a apreciarse en torno a las 10 ppbv, para la acroleína a las 250 ppbv., y para el acetaldehído los efectos fisiológicos no aparecen por la mera exposición a atmósfera contaminada. La exposición continuada a altas concentraciones de orgánicos de olor intenso pueden dar lugar a problemas de falta de sensibilidad olfativa y dolores de cabeza [34], [35].

Los valores de referencia en aire para estos compuestos, están pensados para su aplicación en ambientes industriales. Muchos autores utilizan como referencia los valores límites de exposición para ambientes industriales establecidos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) denominados

TLV (Threshold Limit Values). La adaptación a atmósferas interiores se suele hacer frecuentemente reduciendo estos valores en diez e incluso 100 veces [3].

Los valores guía propuestos para Compuestos Orgánicos Volátiles Totales en aire interior se muestran en la tabla III. Deberá tenerse en cuenta que la concentración de un compuesto individual no deberá superar el 50% de la concentración asignada a su clase ni el 10% de la concentración de VOC's.

Tabla III. Valores guía propuestos para TVOCs en aire interior [ ]

VOCs agrupados por familias	Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Alcanos	100
Hidrocarburos aromáticos	50
Terpenos	30
Halocarbonos	30
Esteres	20
Aldehídos y cetonas (exc. Formaldehído)	20
Otros	50
Valor guía (Suma de VOC, TVOC)	300

**Gases radiactivos naturales. El radón:** En algunas zonas se producen desprendimientos de radón, un gas radiactivo natural, y su acumulación en sótanos. Deben evitarse este tipo de locales en zonas de riesgo. Los terrenos con base granítica son los más propensos a la producción del radón. En ellos se deben evitar los locales por debajo de la rasante, y si fuera imprescindible, se debería proceder a su correcto sellado y a una potente ventilación por sobrepresión.

**Ozono:** Contaminante muy significativo en el aire exterior, en atmósferas interiores aparece raramente ya que reacciona rápidamente y no es habitual. Se produce en fotocopiadoras, lámparas de descarga y en ozonizadores utilizados como desinfectantes.

## 2.2. METODOLOGÍA ANALÍTICA EN ESTUDIOS DE LA CALIDAD DEL AIRE. ANTECEDENTES.

Muchos de los problemas asociados a la calidad del aire interior son multifactoriales y, por ello, la selección del procedimiento operativo depende básicamente del tipo de edificio. En consecuencia, es recomendable que, al realizar un estudio, su responsable tenga una total flexibilidad para adaptarse a las particularidades del edificio en cuestión. En general se aconseja trabajar de forma secuencial por fases

que permitan aproximaciones sucesivas mediante el establecimiento de hipótesis que relacionen causas y efectos y su posterior comprobación. Veamos sucintamente estos aspectos.

### 2.2.1. SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA ANALÍTICA.

Para seleccionar la metodología de análisis a utilizar en este trabajo, se ha llevado a cabo un minucioso estudio de los distintos métodos analíticos que se han utilizado en trabajos similares [8], la legislación vigente y los VOC's más comunes que otros investigadores han referenciado [6], para las distintas zonas geográficas y la influencia del emplazamiento objeto de estudio. A continuación se detallan los aspectos más significativos de los trabajos más relevantes al respecto.

### 2.2.2. TÉCNICAS DE MEJORA DE ANÁLISIS.

En el estudio [8] donde se llevó a cabo la monitorización de 62 VOC's en el aire urbano del País Vasco. Los compuestos no polares identificados (C2- C10), parafinas, oleofinas, aromáticos y compuestos clorados, representaban un 88% de la masa total de los hidrocarburos presentes en el ambiente urbano. Los datos fueron obtenidos mediante un cromatógrafo de gases automático; la evaluación de la linealidad, precisión, límites de detección y estabilidad de los tiempos de retención indicaron que el equipo empleado resulta adecuado para la medición automática del aire ambiental durante periodos prolongados (seis meses).

Los resultados obtenidos con este equipo presentaban una correlación significativa con los obtenidos mediante el empleo de otras técnicas, ampliamente usadas en la determinación de VOCs en aire ambiental:

- 1.- GS automático (estudio arriba referenciado en este apartado).
- 2.- GC portátil, equipado con un detector de fotoionización (PID).
- 3.- Adsorción activa sobre Tenax-TA, seguida de una desorción térmica y análisis cromatográfico.

Teniendo este estudio presente [8], sabiendo que los resultados obtenidos en las tres técnicas son igualmente válidos, se procede a seleccionar el método tres, que además de tener la eficacia y exactitud de análisis que cubre con las expectativas deseadas, permite cambiar el tipo de adsorbente en función de las necesidades del momento. Al ser un sistema simple para su muestreo permite diversificar los puntos de toma de muestra y su simultaneidad.

Para la separación de los hidrocarburos no metánicos (NMHC) se utilizan normalmente columnas individuales, que generalmente emplean dos tipos de fases estacionarias: alúmina PLOT column o polidimetilsiloxano. La primera es adecuada para la separación de hidrocarburos C<sub>2</sub> ligeros, pero retiene menos compuestos

volátiles, limitando el análisis de los hidrocarburos de cadenas superiores a los C8. Por el contrario, la segunda no puede resolver compuestos ligeros, realizando en cambio, una buena separación de las fracciones de NMHC que presentan mayor punto de ebullición en aire.

En este estudio [8], se emplea como alternativa para la monitorización de estos hidrocarburos, la cromatografía de gases multidimensional, técnica que combina dos columnas, ofreciendo simultáneamente una resolución adecuada para cada componente de interés, en un corto periodo de análisis. La técnica se basa en “time commanded connection”, seguida de diferentes columnas analíticas con capacidades de separación complementarias. La resolución obtenida será siempre mejor que empleando una única columna y sin necesidad de aumentar el tiempo de análisis. Entre las múltiples aplicaciones llevadas a cabo con esta técnica, una de ellas consistió en la monitorización de NMHC en aire urbano.

### 2.2.3. ANTECEDENTES EN EUROPA.

Existen varios estudios [21] sobre los tipos de contaminantes en nuestra atmósfera y sus principales precursores. En toda Europa se puede observar una misma línea de los principales contaminantes y qué los genera. Como en distintas zonas geográficas, pero similares por actividades, se acumulan los mismos contaminantes en concentraciones variables.

En España, se comenzaron a estudiar los precursores de ozono en los ochenta y a finales de esta misma década, ya se estaban estudiando el resto de los contaminantes más comunes. Primero se empezó estudiando las áreas industriales, después se pasó a estudiar las zonas no urbanizadas y hoy es objetivo del presente estudio, el aire del interior de edificaciones destinadas a oficinas en su mayor parte [7]. En uno de los estudios que se ha considerado más relevante en este campo, Proyecto APHEA, se hace una comparativa entre distintas ciudades españolas y sus distintas zonas, dicho estudio nos revela que es la ciudad en sí misma la que tiene los niveles de contaminantes elevados, pero su incremento en las zonas industriales, hace que a penas se note la influencia de la ciudad.

# 3 MATERIALES Y METODOLOGÍA.

---

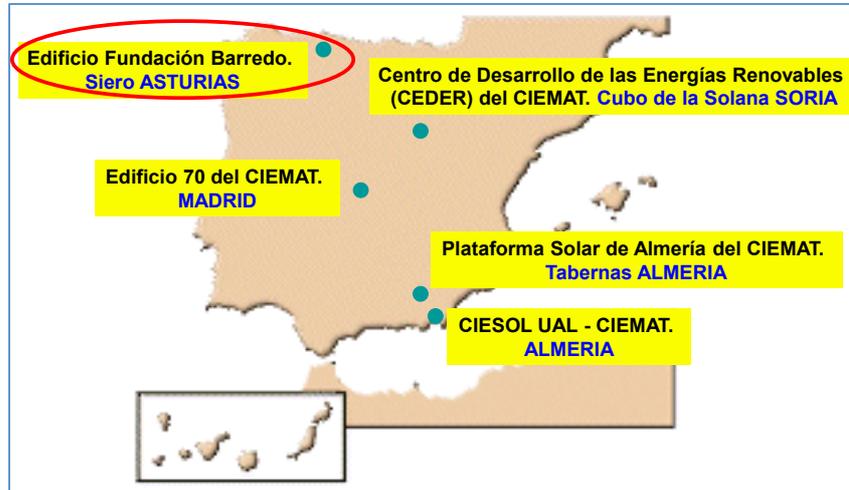
Dentro de la experimentación realizada en este trabajo de Investigación, los resultados obtenidos son fruto de las muestras y análisis efectuados en los siguientes edificios, también denominados “contenedores”.

## 3.1. EDIFICIOS (CONTENEDORES) DONDE SE REALIZA EL ESTUDIO.

Nuestro trabajo ha sido llevado a cabo en distintos edificios de diferentes zonas geográficas de diversas comunidades Autónomas de España, veamoslos a continuación en detalle.

### 3.1.1. C-Ddi ARFRISOL DE ASTURIAS (BARREDO).

En el mapa I, se ve la localización del Barredo y su situación geográfica.



**Mapa I.** Situación De Barredo (Asturias).

En el mapa I, se ve la localización del Barredo, observándose un entorno boscoso la (imagen I), en la cuenca de San Pedro de Anés, lugar que en otra época tuvo mucha actividad minera y posteriormente industrial, con lo cual se le presupondría una calidad de aire con unos niveles bajos de contaminantes debido al entorno, pero no a la actividad de la zona.



**Imagen I.** Localización del CDdl en el marco de Siero.

#### 3.1.1.1. CLIMA

El Principado de Asturias tiene un clima atlántico, caracterizado por una humedad relativa alta y unas temperaturas medias suave a lo largo de todo el año. Las temperaturas más bajas se alcanzan durante los meses de invierno, especialmente en las zonas de alta montaña. El índice de radiación global anual es bajo. San Pedro de Anés, perteneciente al Concejo de Siero muestra una climatología intermedia entre la atlántica y la de alta montaña.

#### 3.1.1.2. DESCRIPCIÓN ESCENARIO DEL C-Ddl SP5-FUNDACIÓN BARREDO (ASTURIAS)

El C-Ddl responde a dos aspectos fundamentales:

Por un lado, C-Ddl es la sede representativa del Centro de Investigación de Fuegos y Ventilación en Túneles San Pedro de Anes de la Fundación BARREDO. En este sentido, el C-Ddl debe adoptar una posición adecuada dentro de la parcela y presentar una fachada que lo justifique como tal, proyectando una imagen tecnológica potente. Por otro, ha de tratarse de un C-Ddl con muy buen funcionamiento bioclimático, para dar respuesta a los requerimientos del PSE-ARFRISOL.

El C-Ddl, con planta en forma de Y, se distribuye en tres niveles (Planos 1, 2 y 3, respectivamente) (de los cuales tiene doble altura el vestíbulo en planta baja) y se remata superiormente con cubiertas curvadas, en sintonía con la

característica formal más notoria del túnel, mimetizada en la nave de experimentación ya existente.

Estéticamente se pretende establecer una relación con el pasado ferroviario del lugar, para que no desaparezca de la memoria colectiva, por medio del uso de materiales como la piedra, de los ritmos de fachadas, de las superficies acristaladas, del tratamiento de estructuras como marquesinas, de las soluciones curvadas de cubiertas, del tratamiento de las carpinterías.

La distribución interior responde al programa facilitado por la Fundación BARREDO, respondiendo al siguiente cuadro de superficies (Tabla IV). El esquema gráfico del comportamiento bioclimático del C-Ddl de la Fundación Barredo (Figura 3), responde a sus características técnicas (Tabla V). En las imágenes más representativas del C-Ddl SP5-Barredo que se muestran en la figura 4, se puede observar que su construcción está encaminada al ahorro energético y que obtiene unos excelentes resultados en la simulación (Tabla VI), derivados del comportamiento de las climatizadoras (Figura 5).

**Tabla IV.** Superficies del C-Ddl de la Fundación Barredo

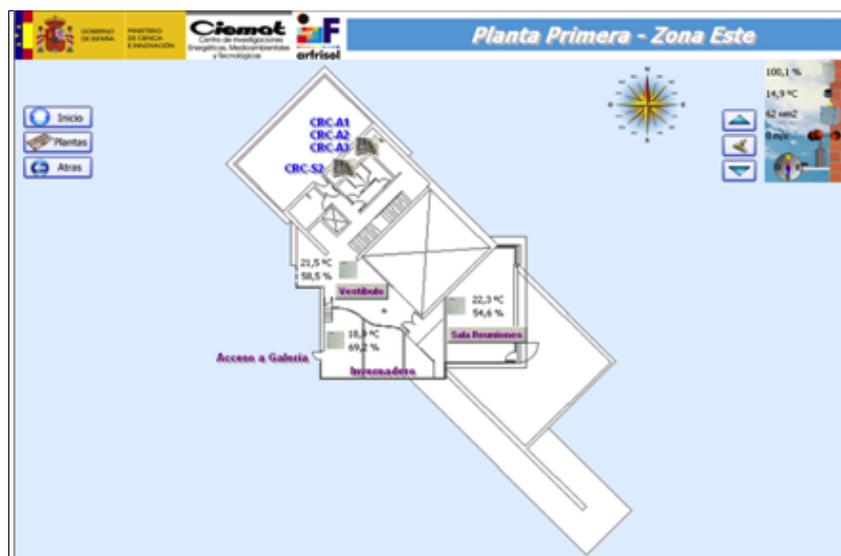
			<i>Edificio Oficinas</i>	<i>Espacios exteriores cubiertos</i>	<i>TOTAL</i>
<b>SUPERFICIES ÚTILES, m<sup>2</sup></b>					
	<b>Oficinas y espacios relacionados</b>	<b>Instalaciones bioclimáticas y frío solar</b>			
<b>Útil Planta baja</b>	<b>449,77</b>		<b>449,77</b>	<b>211,14</b>	<b>660,91</b>
<b>Útil planta primera</b>	<b>306,61</b>	<b>141,77</b>	<b>448,38</b>		<b>448,38</b>
<b>Útil planta segunda</b>	<b>103,47</b>		<b>103,47</b>		<b>103,47</b>
<b>TOTAL ÚTIL</b>	<b>859,85</b>	<b>141,77</b>	<b>1.001,62</b>		<b>1.212,7</b>
<b>SUPERFICIES CONSTRUIDAS, m<sup>2</sup></b>					
<b>Vuelo 25%</b>				<b>29,07</b>	<b>29,07</b>
<b>Marquesina 50%</b>				<b>47,43</b>	<b>47,43</b>
<b>Planta baja</b>			<b>502,52</b>		<b>502,52</b>
<b>Planta primera</b>			<b>556,29</b>		<b>556,29</b>
<b>Planta segunda</b>			<b>113,95</b>		<b>113,95</b>
<b>TOTAL CONSTRUIDA</b>			<b>1.172,76</b>	<b>76,50</b>	<b>1.249,2</b>

### 3.1.1.3. ESTRATEGIAS PASIVAS IMPLEMENTADAS

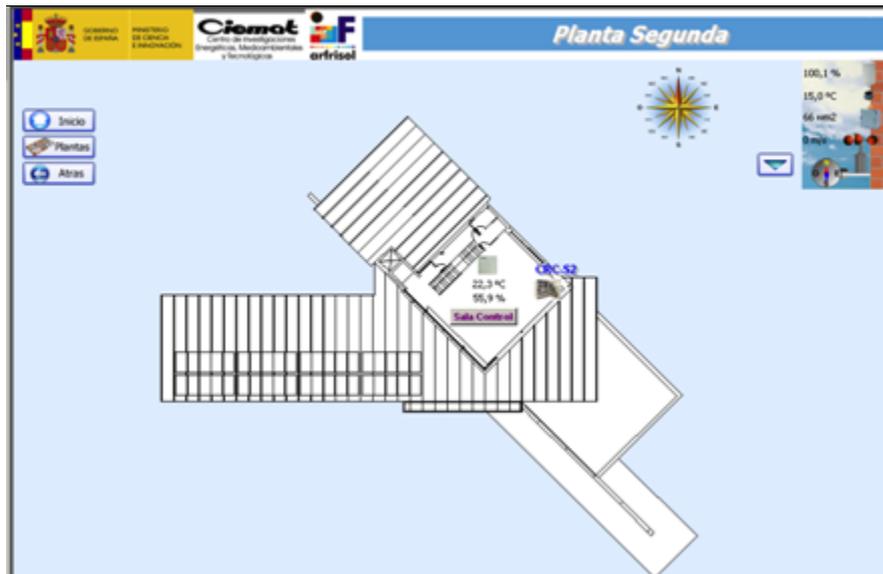
- Orientación principal Norte-Sur, con máxima ganancia solar al Sur.
- Diseño diferenciado de fachadas y huecos acristalados, según orientación.
- Diferentes espesores de aislamiento, según orientación.
- Utilización de carpinterías exteriores con rotura de puentes térmicos y vidrios de doble capa con cámara de aire al vacío.



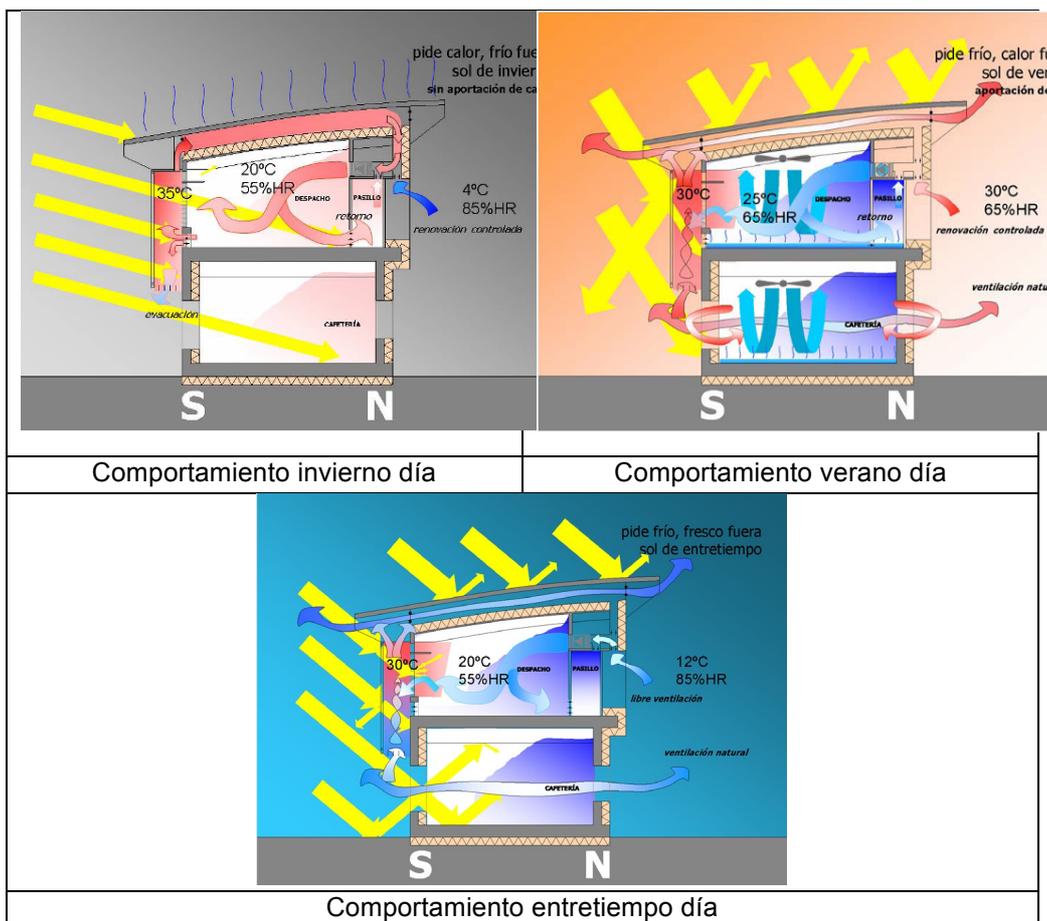
Plano 1. Planta baja, aulas, cafetería y hall. C-Ddi Arfrisol de Asturias



Plano 2. Planta intermedia, sala de reuniones y despachos. C-Ddi Arfrisol de Asturias



**Plano 3.** Planta superior, buhardilla, ordenadores Control. C-Ddl Arfrisol de Asturias.



**Figura 3.** Esquema gráfico del comportamiento bioclimático del C-Ddl de la Fundación Barredo

- Aprovechamiento de la inercia térmica.
- Utilización de materiales de la zona, tales como piedra de Covadonga y madera de castaño.
- Ganancia solar directa, a través de huecos acristalados.
- Ganancia solar semidirecta mediante galería acristalada, ventilada automáticamente en épocas sobrecalentadas e invernadero para el acondicionamiento térmico de zonas comunes.
- Sombreamiento de huecos acristalados, mediante el empleo de parasoles de madera.
- Utilización de cubiertas ventiladas.
- Ventilación natural cruzada.

#### 3.1.1.4. ESTRATEGIAS ACTIVAS IMPLEMENTADAS

- Calefacción y ACS renovable, mediante campo solar térmico y suelo radiante.
- Refrigeración renovable, mediante campo solar térmico y maquinas de absorción.
- Sistema de intercambio energético con el terreno, agua-agua, horizontal y vertical en sustitución de torre de refrigeración.
- Campo solar fotovoltaico en galería acristalada e invernadero.
- Apoyo de energía renovable, mediante dos calderas de biomasa.



Figura 4. Imágenes más representativas del C-Ddi SP5-Barredo

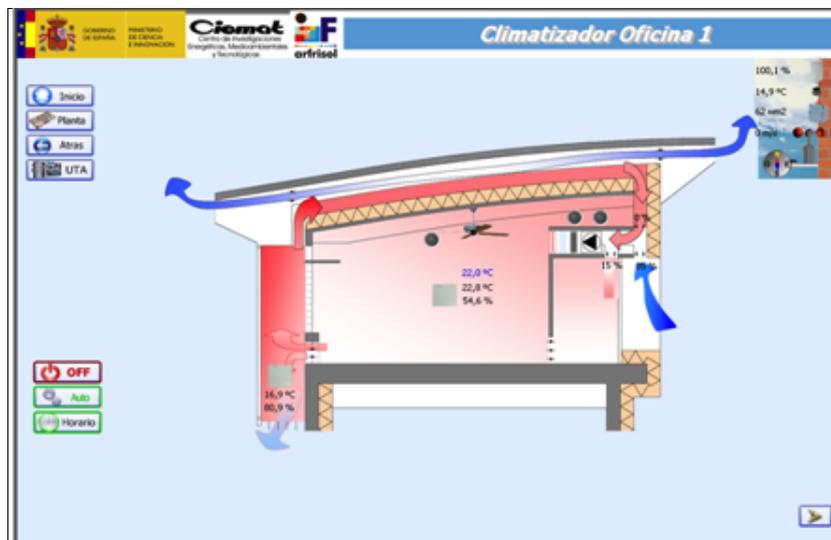
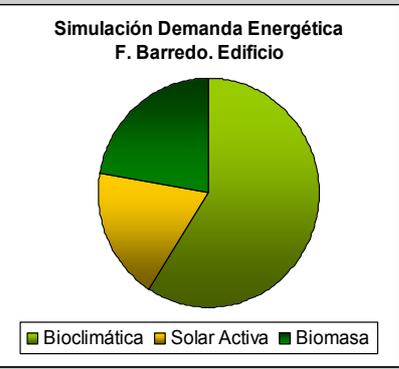


Figura 5. Comportamiento climatizadoras.

**Tabla V.** Ficha técnica del C-DdI SP5- Barredo

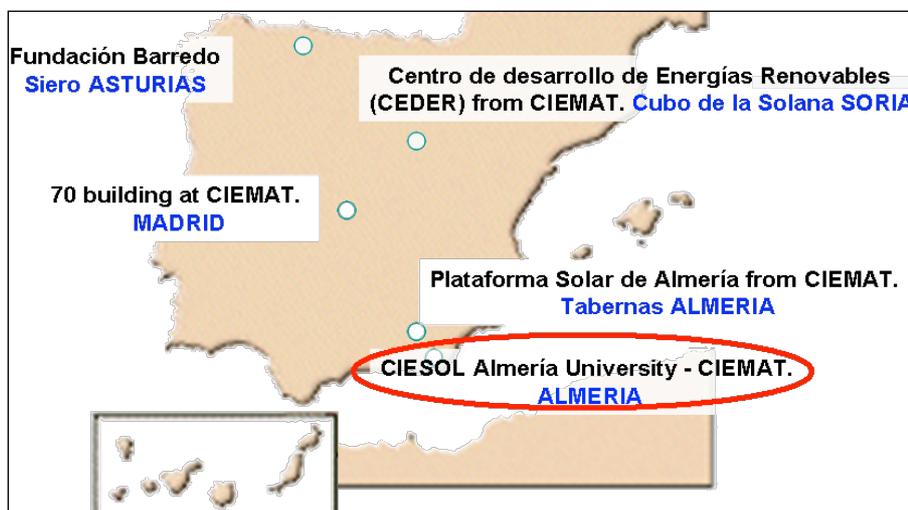
Solar térmica	Captadores solares - Superficie instalada 88 m <sup>2</sup>
Frío Solar	5 máquinas de absorción - Potencia instalada 50-100 kW
Solar fotovoltaica	Potencia instalada 4.1 kWp - 70 módulos. Instalación a 90°
Climatización biomasa	2 Calderas de biomasa - Potencia 120 kW + 130 kW.
Intercambio energético terreno	4 anillos de conductos enterrados horizontales aire-aire y 8 perforaciones verticales de 100 m

**Tabla VI.** Resultados obtenidos por simulación en el C-DdI SP5- Barredo

Calificación Energética	Demanda energética		Ahorros
Certificación energética de edificios Indicador total de emisiones de CO <sub>2</sub> 	(kW h/m <sup>2</sup> año)		Simulación Demanda Energética F. Barredo. Edificio 
	Calefacción	Refrigeración	
	17,34	14,60	
<b>Ahorros: Sist. Pasivos 59 % - Sist. Solares Activos 19 % - Biomasa 22 %.</b>			

### 3.1.2. C-DdI ARFRISOL CIESOL, (ALMERÍA).

En el mapa II se ve la localización del Ciesol y su situación geográfica.



**Mapa II.** Situación del Ciesol (Almería)

En la imagen II se ve la localización del Ciesol, observándose la cercanía al mar y a invernaderos, por lo tanto baja actividad industrial, con lo cual se presupone una calidad de aire con unos niveles bajos de contaminantes.

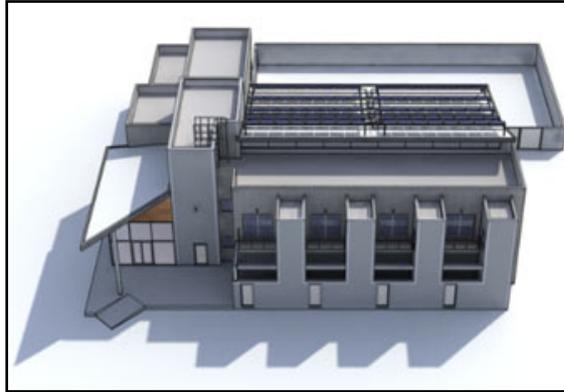
#### 3.1.2.1. CLIMA.

Almería está situada en el sur de España, en la costa del mar mediterráneo, siendo el clima por tanto mediterráneo. La temperatura media anual está entorno a los 18°C, los inviernos son suaves con una temperatura mínima media mensual cerca a 14°C y los veranos presentan una temperatura máxima mensual cerca de los 23°C pero con un alto grado de humedad relativa, entre el 65% y el 70% debido a la proximidad del mar.

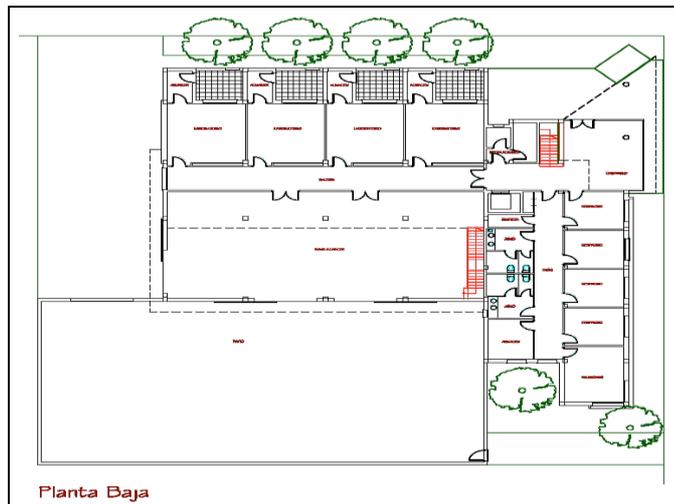


**Imagen II.** Localización del CDdI en el marco de la Universidad de Almería

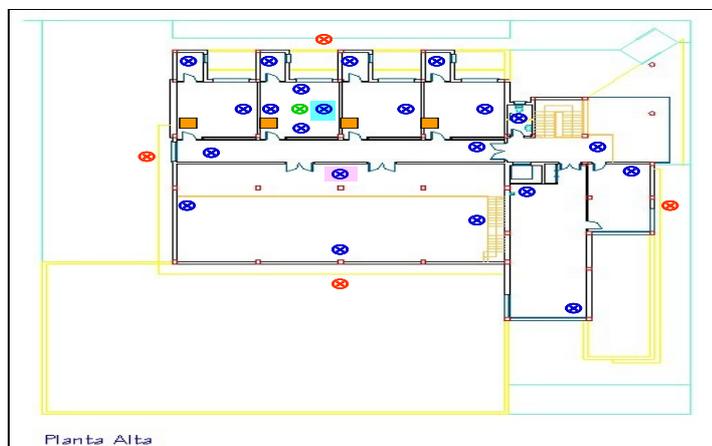
En la imagen III se muestra la disposición del contenedor-demostrador Arfrisol de Almería y en los planos consecutivos la disposición de dicho C-Ddl.



**Imagen III.** C-DdlArfrisol Ciesol, Almería



**Plano 4.** Planta baja del C-DdlArfrisol Ciesol (Almería)



**Plano 5.** Planta superior del C-Ddl ArfrisolCiesol (Almería)

### 3.1.2.2. DESCRIPCIÓN ESCENARIO DEL C-Ddl SP2-UAL (U. ALMERÍA, MEDITERRÁNEO)

El C-Ddl se ubica dentro del solar, retranqueado de sus linderos, según dos cuerpos paralelos a las calles que forman la parcela, dejando en el centro una nave taller y un patio.

Su planta (Plano 4), se desarrolla, abrazando un patio de experimentación solar, en dos alas en forma de L, orientadas al Norte y al Este.

En el ala norte se ubican laboratorios en ambas plantas (planos 4 y 5) y en el ala Este despachos y salas de reunión, así mismo en la zona sur del ala Norte se ubica un almacén de doble altura, donde además se ubica la sala de instalaciones.

El acceso se realiza mediante un vestíbulo acristalado de doble altura.

En la construcción se han tenido en cuenta criterios bioclimáticos que incorporen, en su conjunto, los tres conceptos que definen una construcción respetuosa con el medio ambiente: ahorro energético, integración de energías renovables y construcción sana.

El cerramiento general del C-Ddl es una fachada ventilada con una alta inercia térmica en su interior, que se compone de cinco elementos:

- Revestimiento exterior de placas cerámicas.
- Cámara ventilada.
- Aislamiento térmico de poliuretano proyectado.
- Muro interior de alta inercia térmica.
- Solado interior de alta inercia térmica y una cubierta plana convenientemente aislada.

La distribución interior responde al programa facilitado por la Universidad de Almería, respondiendo al siguiente cuadro de superficies (Tabla VII). El esquema gráfico del comportamiento bioclimático del contenedor-demostrador Arfrisol de Almería (Figura 6), responde a sus características técnicas (Tabla VIII). En las imágenes más representativas del Contenedor-Demostrador Arfrisol de Almería que se muestran en la figura 7, se puede observar que su construcción está encaminada al ahorro energético y que obtiene unos excelentes resultados en la simulación (Tabla IX).

**Tabla VII.** Superficies CIESOL (nombre C-Ddl)

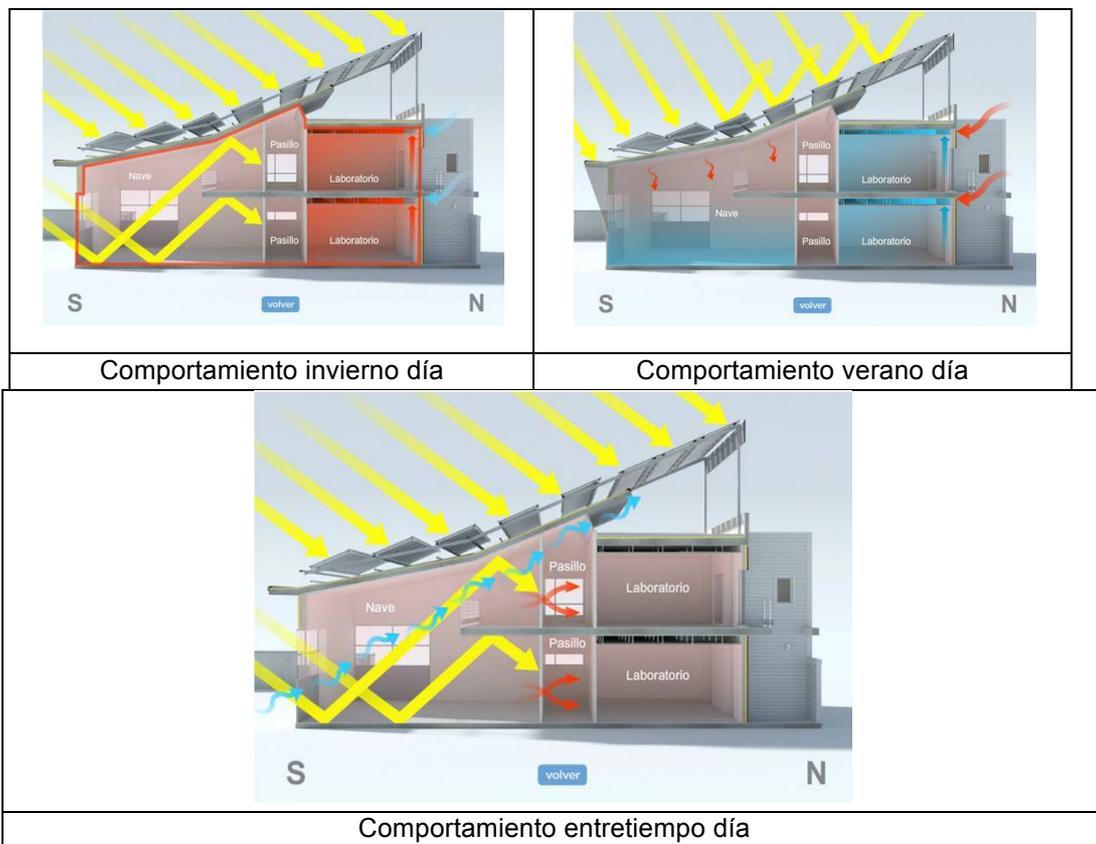
	Oficinas y espacios relacionados	Instalaciones Bioclimáticas, frío solar y almacén	<b>TOTAL</b>
<b>SUPERFICIES ÚTILES, m<sup>2</sup></b>			
<b>Útil Planta baja</b>	<b>359,60</b>	<b>210,21</b>	<b>569,81</b>
<b>Útil planta primera</b>	<b>307,28</b>		<b>307,28</b>
<b>TOTAL ÚTIL</b>	<b>666,88</b>	<b>210,21</b>	<b>877,09</b>
<b>SUPERFICIES CONSTRUIDAS, m<sup>2</sup></b>			
<b>Planta baja</b>	<b>643,28</b>		<b>643,28</b>
<b>Planta primera</b>	<b>428,63</b>		<b>428,63</b>
<b>TOTAL CONSTRUIDA</b>	<b>1071,91</b>		<b>1.071,91</b>

### 3.1.2.3. ESTRATEGIAS PASIVAS IMPLEMENTADAS

- Orientación principal Norte-Sur, con máxima ganancia solar al Sur.
- Diseño diferenciado de fachadas y huecos acristalados, según orientación.
- Utilización de carpinterías exteriores con rotura de puentes térmicos y vidrios de doble capa con cámara de aire al vacío.
- Aprovechamiento de la inercia térmica, mediante el empleo de fachadas ventiladas y cubiertas invertidas.
- Diseño “en peine” de fachada norte, para aprovechar el soleamiento del Este.
- Ganancia solar directa, a través de huecos acristalados.
- Ganancia solar para acondicionamiento de zonas comunes mediante “vestíbulo” acristalado.
- Iluminación natural cenital en zonas comunes.
- Sombreamiento de huecos acristalados, mediante retranqueo de ventanas.
- Sombreamiento de cubiertas, mediante campo solar térmico y pérgola fotovoltaica.
- Ventilación natural cruzada.

### 3.1.2.3. ESTRATEGIAS ACTIVAS IMPLEMENTADAS.

- Calefacción y ACS renovable, mediante campo solar térmico.
- Refrigeración renovable “Frío Solar”, mediante campo solar térmico y maquina de absorción.
- Sistema de intercambio energético con el terreno y supresión de torre de refrigeración.
- Campo solar fotovoltaico.
- Apoyo de energía convencional, mediante caldera de gas de alta eficiencia energética.



**Figura 6.** Esquema gráfico del comportamiento bioclimático del C-DdI SP2-UAL (U. Almería, Mediterráneo)

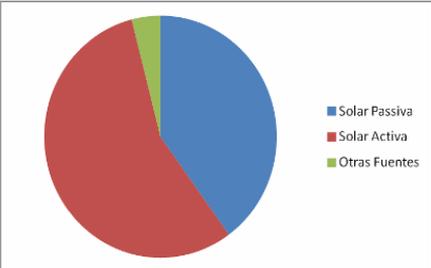
**Tabla VIII.** Ficha técnica del C-DdI SP2-CIESOL

Solar térmica	Captadores solares. - Superficie instalada 160 m <sup>2</sup>
Frío Solar	1 máquina de absorción- Potencia frigorífica 70 kW.
Solar fotovoltaica	Campo solar fotovoltaico. - Potencia instalada 9,3 kWp
Climatización convencional	1 caldera de gas natural. / Bomba de calor.



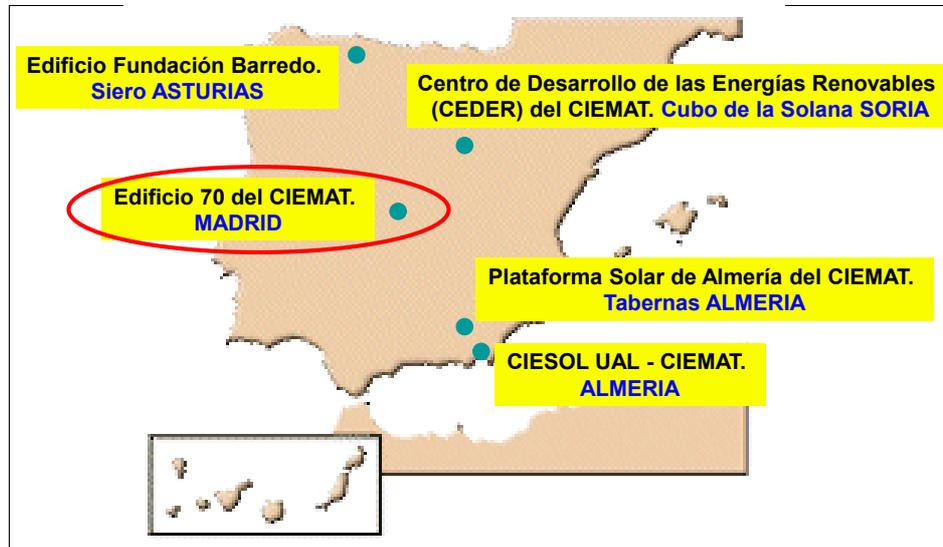
**Figura 7.** Imágenes más representativas del Ddl SP2-UAL (U. Almería, Mediterráneo)

**Tabla IX.** Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddl SP2-CIESOL

Calificación Energética	Demanda energética (kW.h/m <sup>2</sup> .año)		Ahorros
Certificación energética de edificios Indicador total de emisiones de CO <sub>2</sub> 			 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Solar Pasiva</li> <li>■ Solar Activa</li> <li>■ Otras Fuentes</li> </ul>
	Calefacción	Refrigeración	
	13,96	9,49	
<b>Ahorros: Sist. Pasivos 40 %- Sist. Solares Activos 56 % - Instalaciones Convencionales 4 %.</b>			

### 3.1.3. C-Ddi ARFRISOL DE MADRID. (EDIFICIO-70- CIEMAT)

En el mapa III se ve la localización del Ed-70 y su situación geográfica.



**Mapa III.** Situación del Ed-70 (Madrid)

En la imagen IV se ve la localización del ED-70 en Madrid, observándose un entorno de lo más boscoso dentro de la ciudad en la que está ubicado, en Moncloa Madrid, con el monte de El Pardo al Norte y el gran Parque de la Dehesa de la Villa en su espalda, lugar que se esperaba de baja contaminación si no fuera por la gran urbe en la que se encuentra con industria y sobre todo la masificación de automóviles en continuo movimiento.

#### 3.1.3.1. CLIMA

La ciudad de Madrid se encuentra situada geográficamente en la Meseta Sur, en el centro de la Península Ibérica, por lo que su clima se puede describir como continental, temperaturas frías en invierno y muy calurosas en verano. Las temperaturas en primavera y otoño son bastante suaves, siendo estas las épocas con mayor número de días lluviosos, aunque el nivel anual de precipitaciones es bajo. El porcentaje de humedad relativa es bastante bajo.



**Imagen IV.** Localización del CDdI en el marco Ciudad Universitaria, CIEMAT

### 3.1.3.2. DESCRIPCIÓN ESCENARIO DEL C-DdI ARFRISOL DE MADRID. (EDIFICIO-70- CIEMAT)

El Contenedor-Demostrador de Investigación ED 70 es un edificio ubicado en la parcela este del Centro de Madrid del CIEMAT (Imagen IV). Está concebido como un edificio de oficinas y laboratorios, al servicio de las Divisiones de Hematopoyesis y Biomedicina Epitelial de este Organismo. Se desarrolla en tres plantas sobre rasante con predominio de las líneas puras y los planos horizontales sobre los elementos verticales. Es, por otra parte, ampliación de otro existente, por lo que se ha guardado, en lo posible, una semejanza estética exterior con el mismo. Los condicionantes del planeamiento municipal se han salvado satisfactoriamente tras mantener diversas reuniones y obtener finalmente la aprobación de la modificación de la licencia urbanística ya concedida para posibilitar la instalación de la pérgola que sirve de base a los paneles solares, los elementos de sombreado en fachada y la formación de la fachada técnica en la fachada oeste para posibilitar los tendidos de instalaciones generales y solares.

El C-DdI alberga en su planta baja (Plano VI), las oficinas del personal de las Divisiones que trabajan en el mismo. Las distintas plantas de la edificación, con muy distintas actividades, del C-DdI, Ed70-CIEMAT, pueden observarse en el plano 7. En la planta primera se ubican los laboratorios de centrifugación, biología molecular, electroforesis y cultivos.

En la planta segunda están los laboratorios de citometría, salas blancas GMP, cultivos, histología y microscopia confocal.

En la planta sótano se encuentran los equipos de las instalaciones de climatización, convencional y solar, de calefacción y de servicios del C-Ddl (criogenia, congelación, gestión de residuos, etc.). También se han ubicado en esta planta módulos de preparación de material estéril, histología/microscopía y cámara oscura.

Finalmente, en planta tercera hay una galería de servicios y terraza con los equipos de aire acondicionado. Sobre la terraza se ubica una pérgola que contiene los paneles solares térmicos.

La distribución interior responde al programa facilitado por el CIEMAT, respondiendo al siguiente cuadro de superficies (Tabla X).

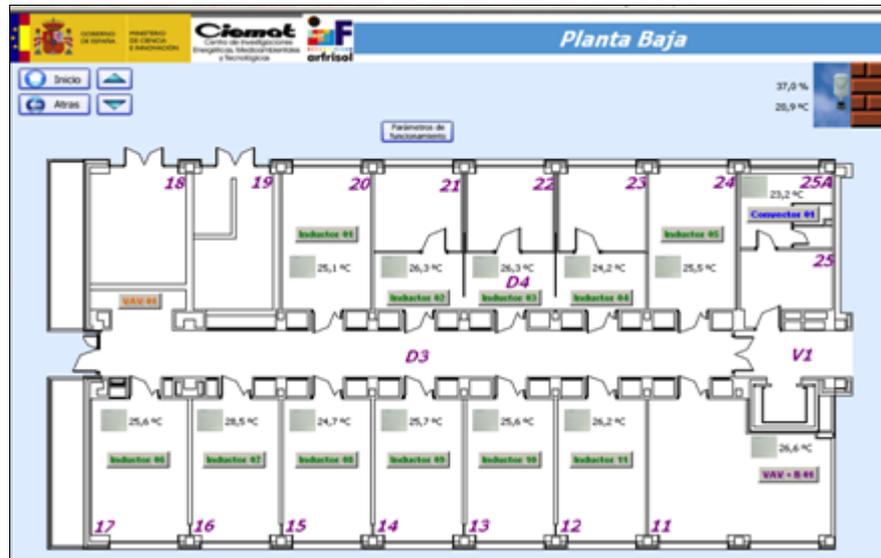
**Tabla X.** Superficies del C-Ddl, Ed70-CIEMAT

	<b>Oficinas, laboratorios y espacios relacionados</b>	<b>Instalaciones bioclimáticas y frío solar</b>	<b>TOTAL</b>
<b>SUPERFICIES ÚTILES, m<sup>2</sup></b>			
Útil Planta sótano	299,46	85,00	384,46
Útil Planta baja	396,71		396,71
Útil planta primera	392,58		392,58
Útil planta segunda	395,36		395,36
Útil planta cubierta	142,00		142,00
<b>TOTAL ÚTIL</b>	<b>1.626,11</b>	<b>85,00</b>	<b>1.711,11</b>
<b>SUPERFICIES CONSTRUIDAS, m<sup>2</sup></b>			
Planta sótano	370,00	101,70	471,70
Planta baja	471,70		471,70
Planta primera	471,70		471,70
Planta segunda	471,70		471,70
Planta cubierta	160,50		160,50
<b>TOTAL CONSTRUIDA</b>	<b>1945,60</b>	<b>101,70</b>	<b>2047,30</b>

### 3.1.3.3. ESTRATEGIAS PASIVAS IMPLEMENTADAS

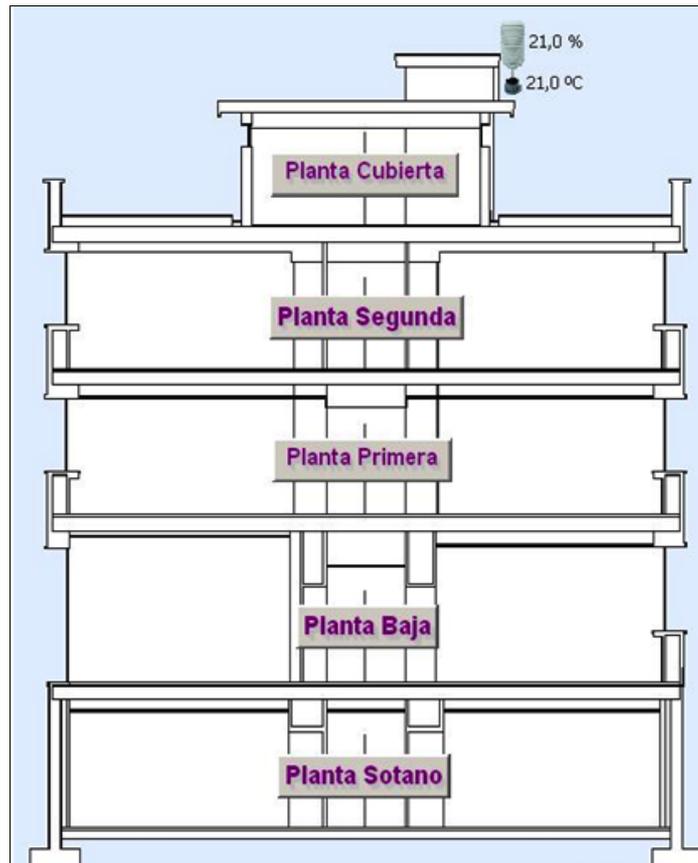
- Orientación principal Norte-Sur, con máxima ganancia solar al Sur.
- Aprovechamiento de la inercia térmica, mediante el empleo de fachadas ventiladas y cubiertas invertidas.
- Diferentes espesores de aislamiento, según orientación.
- Utilización de carpinterías exteriores con rotura de puentes térmicos y vidrios de doble capa con cámara de aire al vacío, siendo bajo-emisivos los de la fachada norte, para evitar pérdidas térmicas.
- Ganancia solar directa, a través de huecos acristalados.

- Sombreamiento de huecos acristalados al sur, mediante parasoles fotovoltaicos.
- Sombreamiento de cubiertas, mediante pérgola solar térmica.
- Ventilación natural cruzada.

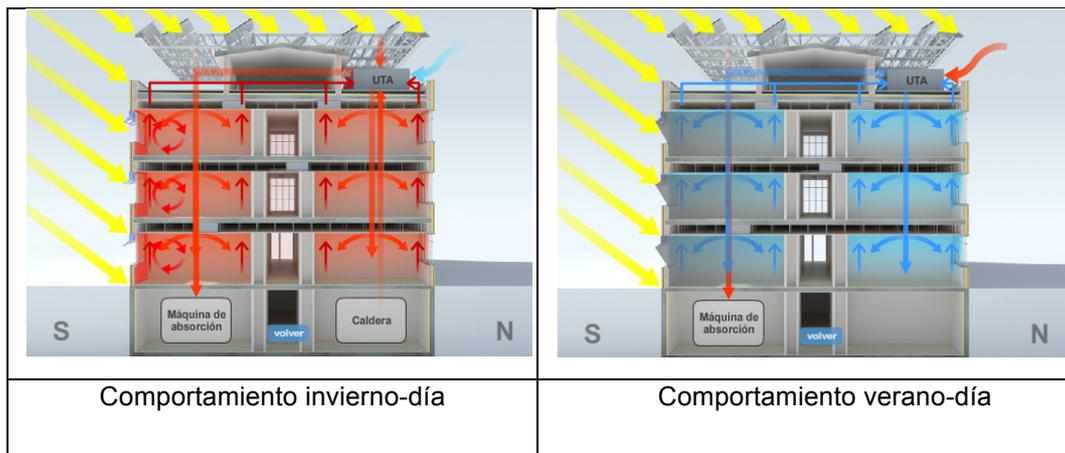


**Plano 6.** Planta baja, despachos del C-Ddl, Ed70-CIEMAT

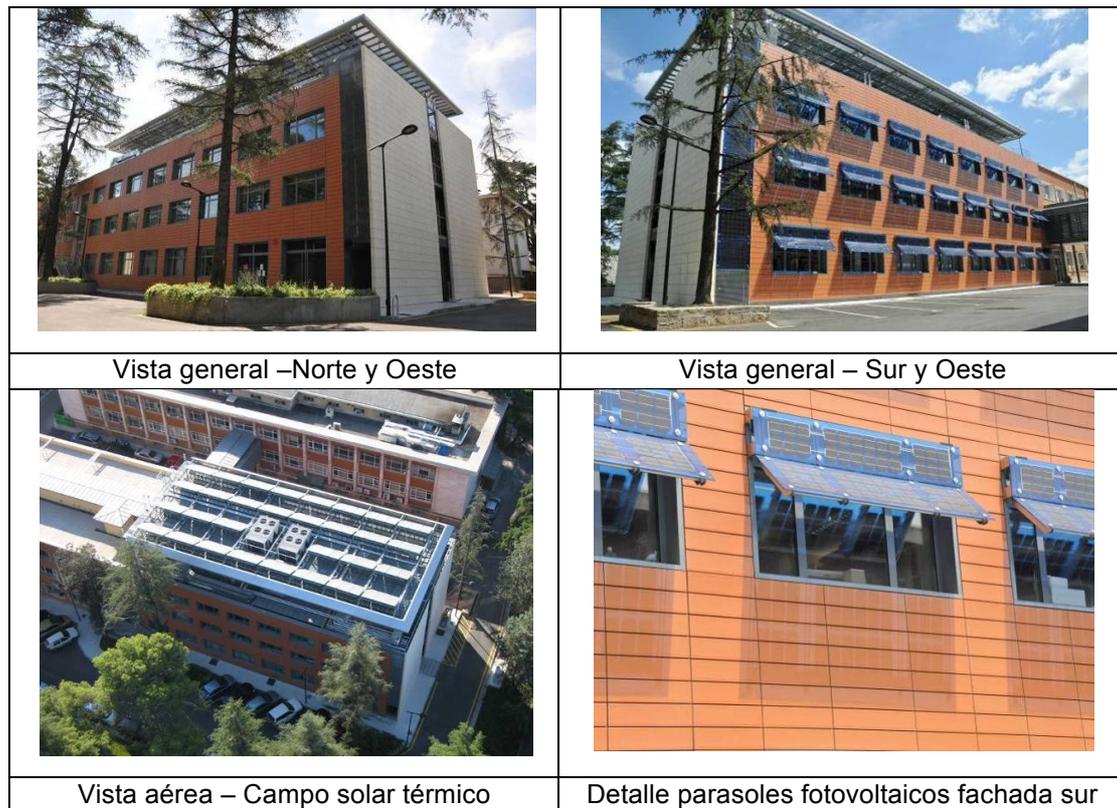
El esquema gráfico del comportamiento bioclimático del Contenedor-Demostrador de Investigación ED 70 en Madrid del CIEMAT (Figura 8), responde a sus características técnicas (Tabla XI). En las imágenes más representativas del del Contenedor-Demostrador de Investigación ED 70 en Madrid del CIEMAT que se muestran en la figura 9, se puede observar que su construcción está encaminada al ahorro energético y que obtiene unos excelentes resultados en la simulación (Tabla XII).



**Plano 7.** Plantas de la edificación, con muy distintas actividades, del C-Ddi, Ed70-CIEMAT



**Figura 8.** Gráfico del Comportamiento bioclimático del C-Ddi SP3-Ed 70, CIEMAT



**Figura 9.** Imágenes más representativas del C-DdI SP3-Ed 70- CIEMAT

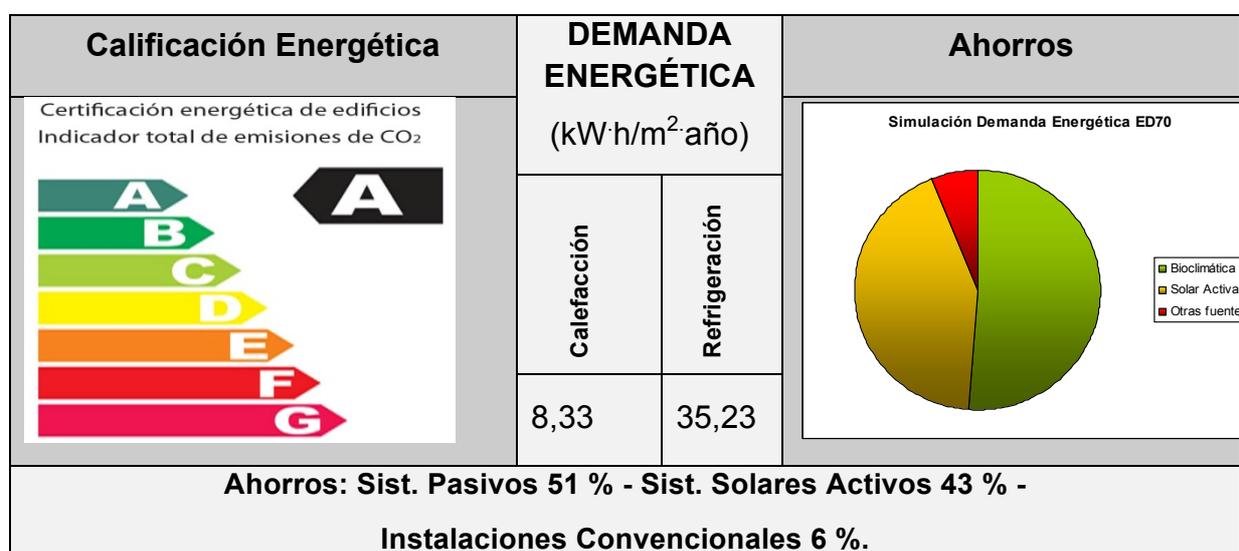
#### 3.1.3.4. ESTRATEGIAS ACTIVAS IMPLEMENTADAS.

- Calefacción y ACS renovable, mediante campo solar térmico.
- Refrigeración renovable, mediante campo solar térmico con máquinas de absorción e impulsión por inductores.
- Control inteligente de la iluminación.
- Campo solar fotovoltaico.
- Apoyo de energía convencional, mediante calderas de gas de alta eficiencia energética.

**Tabla XI.** Ficha técnica del C-Ddi SP3-Ed 70- CIEMAT

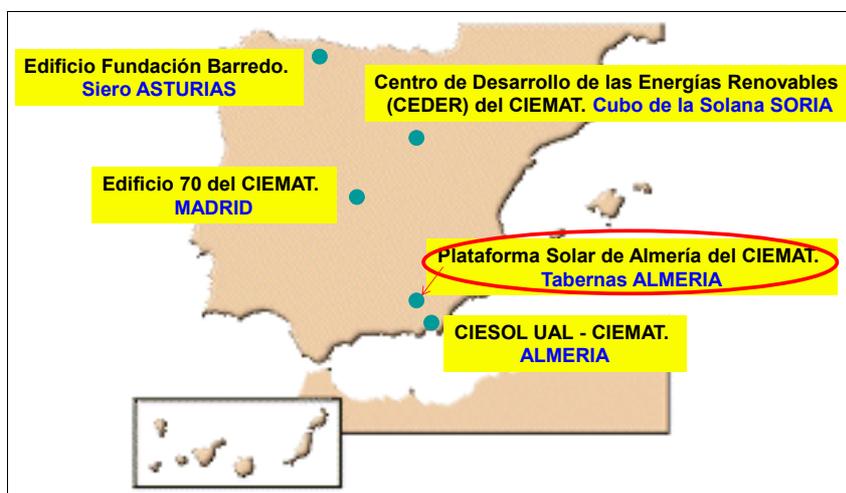
<b>Solar térmica</b>	Captadores solares (TIM).- Superficie instalada 180 m2
<b>Frío Solar</b>	4 máquinas de absorción.- Potencia total 40-80 kW.
<b>Solar fotovoltaica</b>	Campo solar fotovoltaico.- Potencia instalada 5.7 kWp
<b>Calefacción convencional</b>	2 calderas de gas natural (170 kW/maq).
<b>Refrigeración convencional</b>	2 enfriadoras agua-aire (200 kW/maq).
<b>Recuperación de calor</b>	De alta eficiencia

**Tabla XII.-** Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddi SP3-Ed 70- CIEMAT



### 3.1.4. C-Ddi ARFRISOL PSA, ALMERÍA.

En el mapa IV se ve la localización del PSA y su situación geográfica.

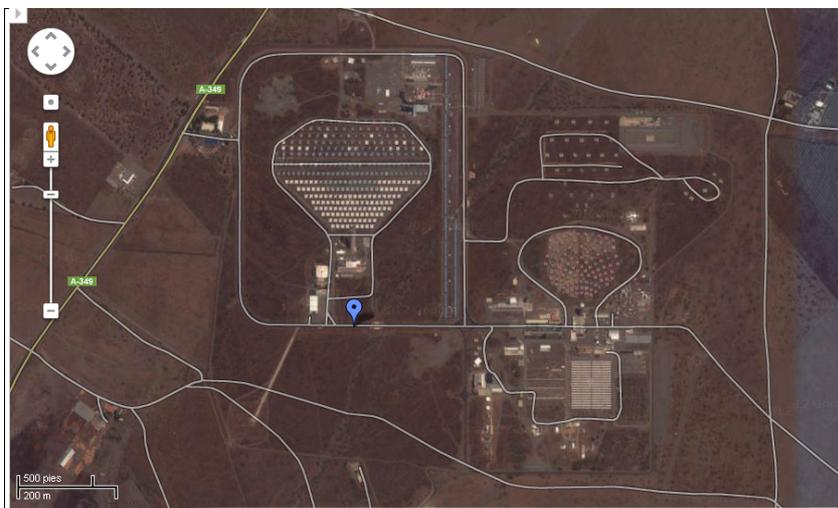


**Mapa IV.** Situación de la PSA (Almería)

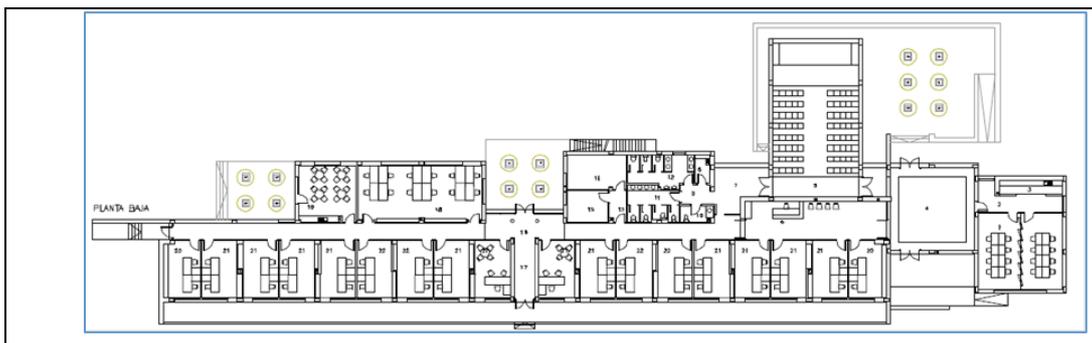
En la imagen V se ve la localización de la PSA, observándose que se encuentra en pleno desierto de Tabernas, por lo tanto baja actividad industrial, con lo cual se presupone una calidad de aire con unos niveles bajos de contaminantes.

### 3.1.4.1. CLIMA.

El desierto de Tabernas está situado en una zona con clima mediterráneo cálido y semiárido. La temperatura media anual está entorno a los 18°C, con un valor promedio de temperaturas mínimas en los meses más fríos de 4°C y un valor promedio de temperaturas máximas de 35°C. Las amplitudes diarias medias varían desde los 12-9°C en verano e invierno respectivamente.



**Imagen V.** Localización del CDdl en la Plataforma Solar de Almería



**Plano 8.** Planta baja del C-Ddl PSA Arfrisol, Almería.

### 3.1.4.2. DESCRIPCIÓN ESCENARIO C-Ddl SP4-PSA (CIEMAT-PSA, Tabernas).

La propuesta que desarrolla el C-Ddl se basa en la concepción del mismo como un elemento abierto y permeable con el entorno tan singular en el que se implanta. El protagonista en todo momento será el paisaje en el cual se integra.

En su composición predominan los elementos de cerramientos masivos y opacos que quedan rotos por planos de vidrio que introducen el paisaje dentro del espacio que define el volumen del C-Ddl. No se trata por lo tanto de ocupar la parcela imponiendo una edificación, sino de ordenar este entorno integrándolo como un elemento más del complejo que define la Plataforma Solar de Almería.

El C-Ddl se desarrolla, en una sola planta (Plano 8), alrededor de un gran eje que polariza todos los usos y favorece el funcionamiento del mismo. Dentro del C-Ddl se distinguen dos zonas principales. El programa funcional, planteado por la PSA, consiste fundamentalmente en dos áreas que definen las características del C-Ddl:

- Área de Reuniones y Conferencias, que se compone de Vestíbulo, Recepción, Sala de Conferencias y Salas de Reuniones.
- Área de Oficinas que alberga los usos de Despachos, Sala de Descanso, Aseos, Reprografía y Cuarto de instalaciones.

La distribución interior responde a dicho programa, respondiendo al siguiente cuadro de superficies (Tabla XIII)

Tabla XIII. Superficies del C-Ddl de la PSA, Almería

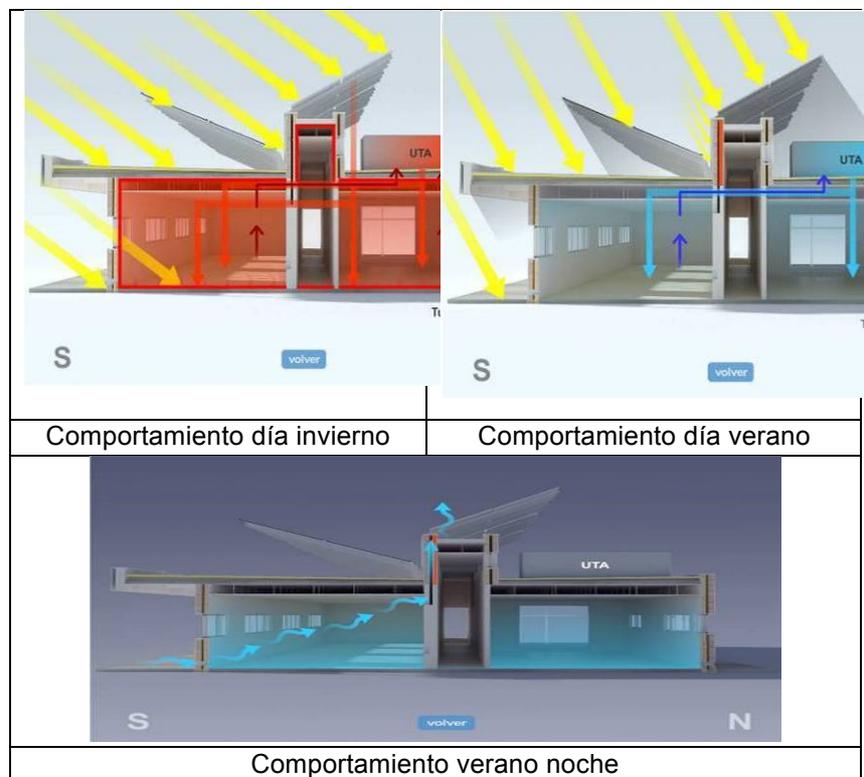
	Oficinas, y espacios relacionados	Instalaciones bioclimáticas y frío solar	TOTAL
<b>SUPERFICIES ÚTILES, m<sup>2</sup></b>			
Útil Planta baja	990,40	17,00	1007,40
<b>TOTAL ÚTIL</b>	<b>990,40</b>	<b>17,00</b>	<b>1007,40</b>
<b>SUPERFICIES CONSTRUIDAS, m<sup>2</sup></b>			
Planta baja	1096,09	18,87	1114,96
<b>TOTAL CONSTRUIDA</b>	<b>1096,09</b>	<b>18,87</b>	<b>1114,96</b>

### 3.1.4.3. ESTRATEGIAS PASIVAS IMPLEMENTADAS

- Orientación principal Norte-Sur, con máxima ganancia solar al Sur.
- Utilización de materiales de la zona, tales como mármol de Macael.

- Diseño diferenciado de fachadas y huecos acristalados, según orientación.
- Gran capacidad y acumulación de energía como consecuencia de la configuración del C-Ddl en una sola planta.
- Utilización de carpinterías exteriores con rotura de puentes térmicos y vidrios de doble capa con cámara de aire al vacío.
- Ganancia solar directa, a través de huecos acristalados.
- Iluminación natural cenital en zonas comunes.
- Control solar en fachada sur, mediante voladizo de la cubierta, permitiéndose la ganancia solar en épocas infracalentadas y el sombreado en las sobrecalentadas.
- Sombreamiento de cubiertas, mediante doble pérgola que soportan los campos solares térmico y radioconvectivo.
- Ventilación natural cruzada, por chimeneas solares.
- Pre-climatización natural mediante conductos enterrados aire-aire.

El esquema gráfico del comportamiento bioclimático del del C-Ddl de la PSA, Almería (Figura 10), responde a sus características técnicas (Tabla XIV). En las imágenes más representativas del del C-Ddl de la PSA, Almería que se muestran en la figura 11, se puede observar que su construcción está encaminada al ahorro energético y que obtiene unos excelentes resultados en la simulación (Tabla XV).



**Figura 10.** Esquema gráfico del comportamiento bioclimático del C-Ddl de la PSA, Almería

### 3.1.4.4. ESTRATEGIAS ACTIVAS IMPLEMENTADAS.

- Calefacción y ACS renovable, mediante campo solar térmico y suelo radiante.
- Pre-refrigeración por campo radioconvectivo y suelo radiante.
- Refrigeración renovable, mediante campo solar térmico y máquinas de absorción.
- Campo solar fotovoltaico.
- Apoyo de energía convencional, mediante caldera de gas de alta eficiencia energética.

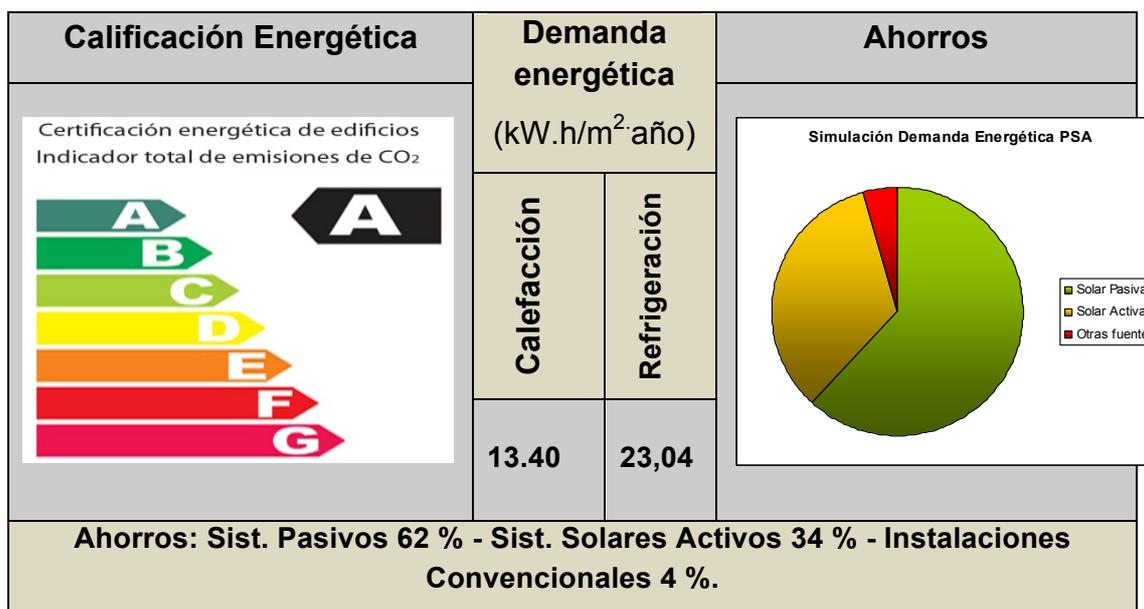
**Tabla XIV.** Ficha técnica del C-Ddl SP4-PSA, Almería

Solar térmica	Captadores solares (TIM).- Superficie instalada 180 m <sup>2</sup>
Frío Solar	4 máquinas de absorción.- Potencia total 40-80 kW.
Solar fotovoltaica	Potencia instalada 8,1 kWp 108 módulos x 75 Wp. Inclinación 90°.
Climatización convencional	Bomba de calor – Potencia 100 kW
Intercambio energético terreno	4 conductos enterrados horizontales aire-aire



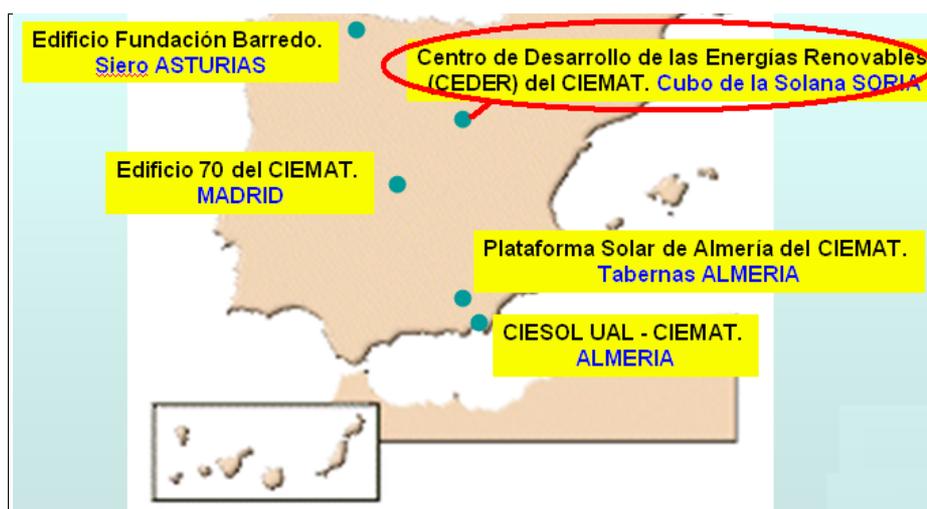
**Figura 11.** Imágenes más representativas del C-Ddl SP4-PSA, Almería

Tabla XV. Resultados obtenidos por simulación en el C-Ddi SP4-PSA, Almería



### 3.1.5. C-Ddi ARFRISOL DE SORIA (CEDER).

En el mapa V se ve la localización del CEDER y su situación geográfica

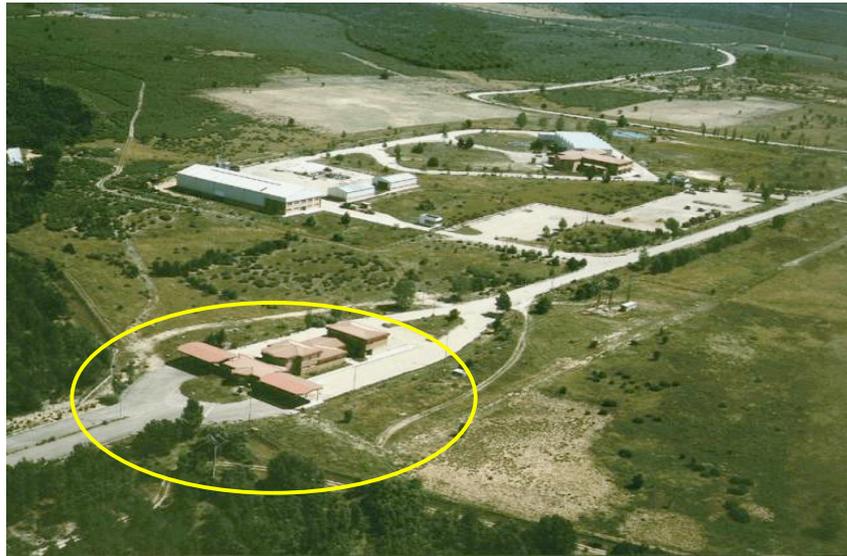


Mapa V. Situación del CEDER (Soria)

En la imagen VI se ve la localización del CEDER, observándose un entorno boscoso, con lo cual se presupone una calidad de aire con unos niveles bajos de contaminantes.

### 3.1.5.1. CLIMA.

La provincia de Soria se halla situada en el centro-norte de España, en la zona oriental de la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Presenta un clima continental extremo, con temperaturas muy frías en invierno con bastantes heladas, y calurosas en verano.



**Imagen VI.** Localización del CDdI en el marco del CEDER (Soria)

En la imagen VII se muestra la disposición del contenedor-demostrador Arfrisol de Soria y en los planos consecutivos la disposición de dicho C-DdI.



**Imagen VII.** C-DdI CEDER ARFRISOL (Soria)

### 3.1.5.2. DESCRIPCIÓN ESCENARIO C-Ddl SP6-CEDER (CIEMAT-CEDER SORIA).

La solución de rehabilitación propuesta responde a dos planteamientos:

Por un lado, el C-Ddl ha de convertirse en la sede y el edificio representativo del CEDER. En este sentido, el C-Ddl debe incorporar el programa necesario y adquirir una imagen tecnológica, que el actual edificio no tiene.

Por otro, ha de tratarse de un C-Ddl con muy buen funcionamiento bioclimático, para dar respuesta a los requerimientos del Proyecto ARFRISOL, del que forma parte. La orientación del actual C-Ddl, con sus fachadas más extensas a S y a N, es una base suficientemente satisfactoria, pero la rehabilitación debe el C-Ddl debe introducir componentes que mejoren su funcionamiento como contenedor – demostrador de investigación en bioclimática y frío solar.

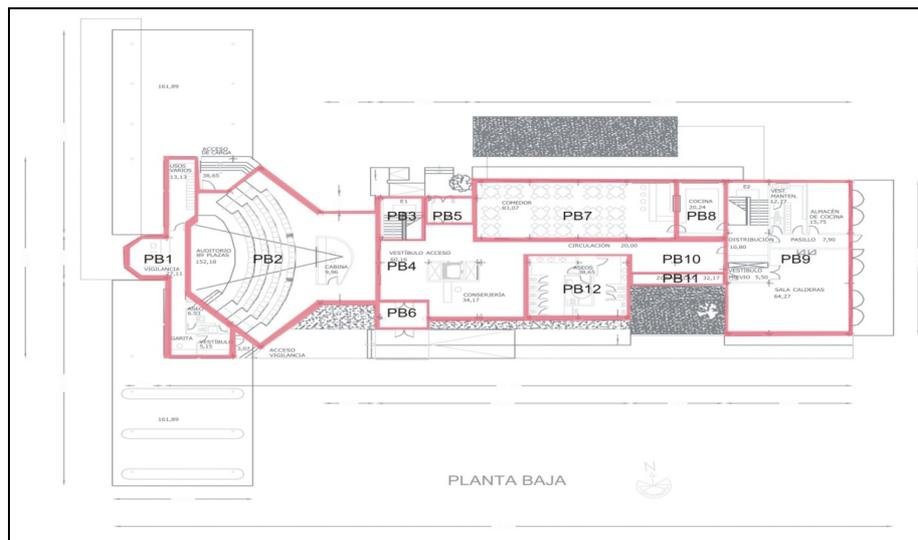
Ambos aspectos se conjugan en este proyecto con una solución de rehabilitación que tiene dos intervenciones fundamentales: completar la volumetría del C-Ddl (añadiéndole edificación en la planta primera entre escaleras y cerrando el cobertizo que el actual edificio tiene en su extremo E), y envolver esta volumetría en componentes bioclimáticos y de aprovechamiento de energías renovables, de fachada y cubierta.

La Planta baja del C-Ddl Arfrisol del CEDER (Plano 9) y las soluciones de rehabilitación a esa planta (Plano 10 y Plano 11), así como la intervención en la planta superior (Planos 12 y 13), muestran el trabajo llevado a cabo como medidas llevadas a cabo para mayor aprovechamiento energético.

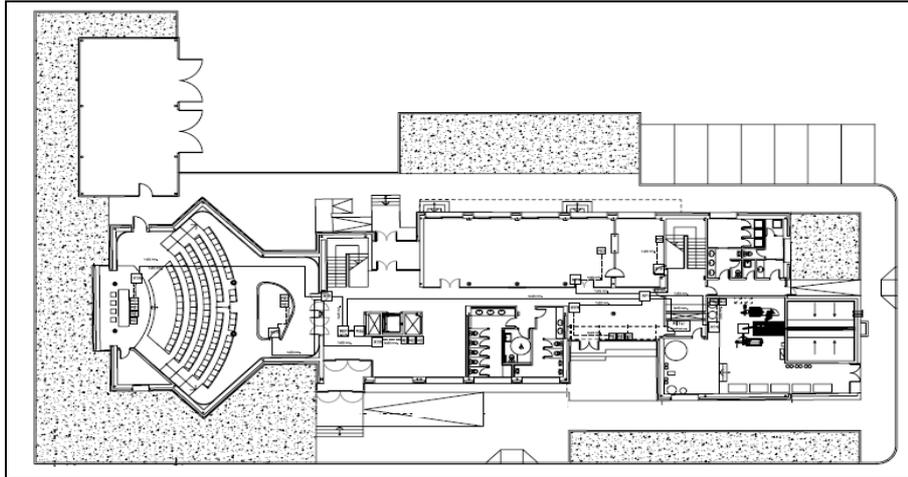
De esta manera se consigue una forma más regular, de dos plantas de altura en el cuerpo central del C-Ddl, conservando la altura de una planta en la zona más próxima a la entrada, al O. También como parte de la rehabilitación, se modifica la operación de vigilancia de las entradas y salidas, que se vuelcan a un solo lado, en la banda S. La distribución interior responde al programa facilitado por el CEDER, respondiendo al siguiente cuadro de superficies (Tabla XVI).

**Tabla XVI.** Superficies del C-Ddi del CEDER (Soria)

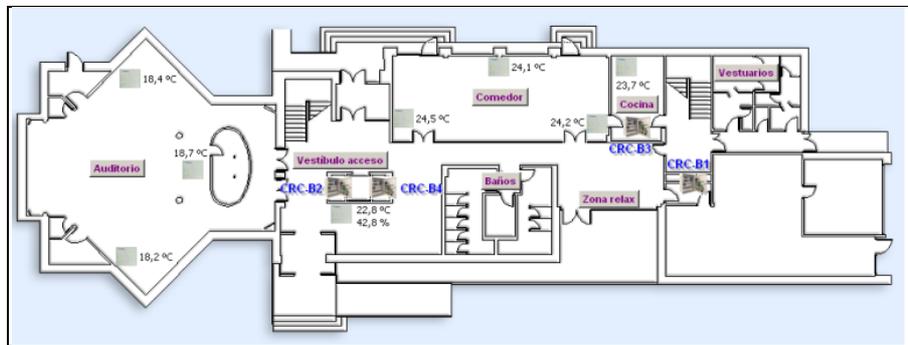
	Oficinas y espacios relacionados	Instalaciones bioclimáticas	Edificio Principal Oficinas	Voladizos parasoles cubierta	Cobertizos Acceso	TOTAL
<b>SUPERFICIES ÚTILES, m<sup>2</sup></b>						
Útil planta baja	539.73	100.88	640.61	214.98	325.93	1181.52
Útil planta primera	451.91		451.91			451.91
Útil planta cubierta	16.21		16.21			
<b>TOTAL ÚTIL EDIFICIO REHABILITADO</b>	<b>1007.85</b>	<b>100.88</b>	<b>1108.73</b>	<b>214.98</b>	<b>325.93</b>	<b>1649.64</b>
<b>SUPERFICIES CONSTRUIDAS, m<sup>2</sup></b>						
Cobertizos fotovoltaicos	50%				162.97	162.97
Parasol cubierta sur	50%			60.20		60.20
Parasol cubierta norte	50%			47.30		47.30
			794.77			794.77
Planta primera			547.61			547.61
Casetón escalera			23.54			23.54
<b>TOTAL CONSTRUIDA C-DDI REHABILITADO</b>			<b>1365.92</b>	<b>107.49</b>	<b>162.67</b>	<b>1636.38</b>



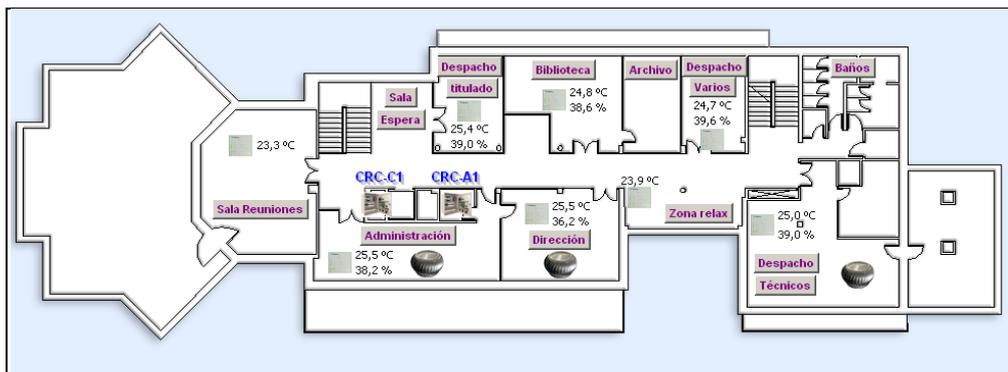
**Plano 9.** Planta baja del C-Ddi Arfrisol del CEDER (Soria)



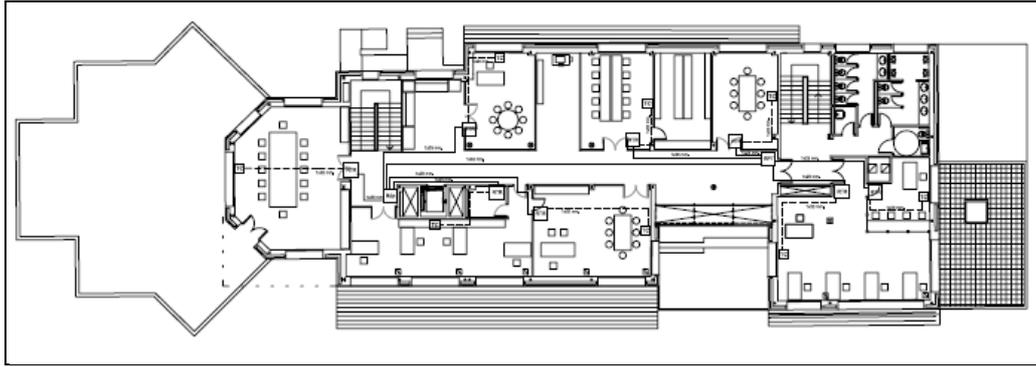
**Plano 10.** Planta baja del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria) [Detalle.]



**Plano 11.** Planta baja del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria) [Detalle 2.]



**Plano 12.** Planta superior del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria)



**Plano 13.** Planta superior del CD-dl Arfrisol del CEDER (Soria) [Detalle].

### 3.1.5.3. ESTRATEGIAS PASIVAS IMPLEMENTADAS.

- Orientación principal Norte-Sur, con máxima ganancia solar al Sur.
- Compacidad (buen coeficiente de forma).
- Diseño diferenciado de fachadas y huecos acristalados, según orientación.
- Utilización de carpinterías exteriores con rotura de puentes térmicos y vidrios de doble capa con cámara de aire al vacío.
- Aprovechamiento de la inercia térmica, mediante el empleo de fachadas ventiladas y cubiertas invertidas.
- Ganancia solar directa, a través de huecos acristalados.
- Ganancia solar para acondicionamiento e iluminación de zonas comunes mediante invernadero.
- Sombreamiento de huecos acristalados mediante pérgolas de cubierta y parasoles de lamas de plantas de hoja caduca.
- Sombreamiento de cubiertas, mediante doble pérgola térmica y radioconvectiva.
- Ventilación natural cruzada, mediante aspiradores eólicos, con refrigeración adiabática, tanto en despachos (Plano 14), como en el auditorio (Plano 15).

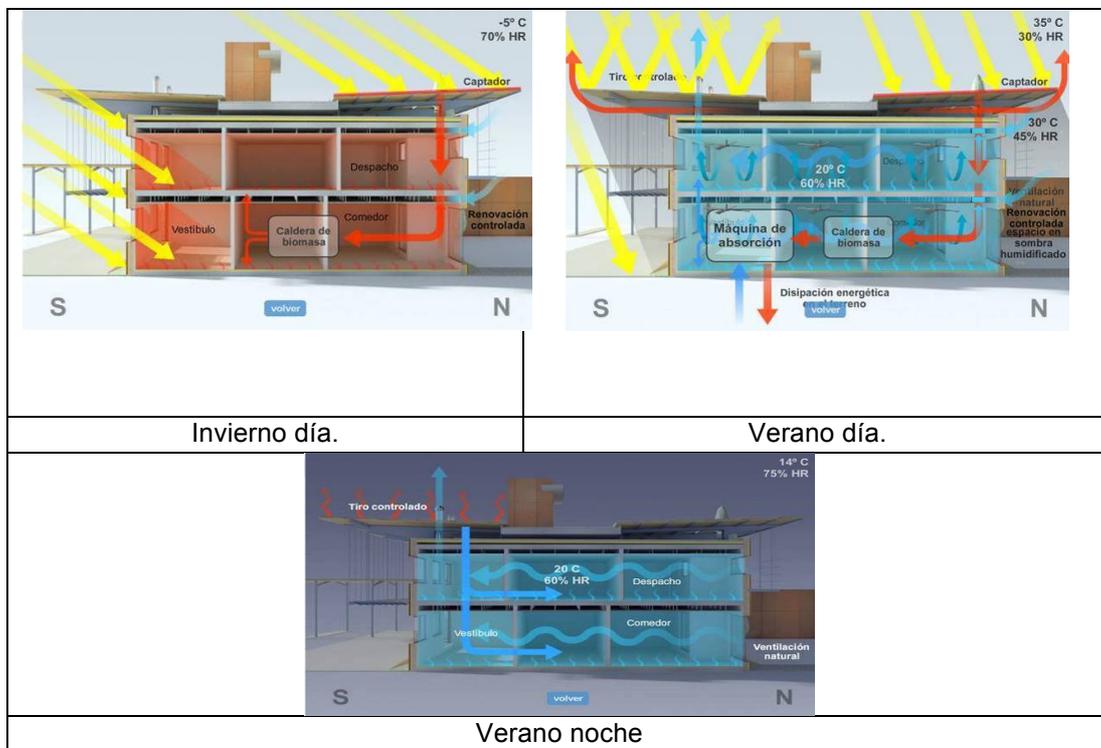
### 3.1.5.3. ESTRATEGIAS ACTIVAS IMPLEMENTADAS.

- Calefacción y ACS renovable, mediante campo solar térmico y suelo radiante.
- Refrigeración renovable, mediante campo solar térmico y máquinas de absorción.
- Sistema de intercambio energético con el terreno y supresión de torre de refrigeración.
- Utilización del cobertizo existente para soporte del campo solar fotovoltaico.
- Apoyo de energía renovable, mediante caldera de biomasa.

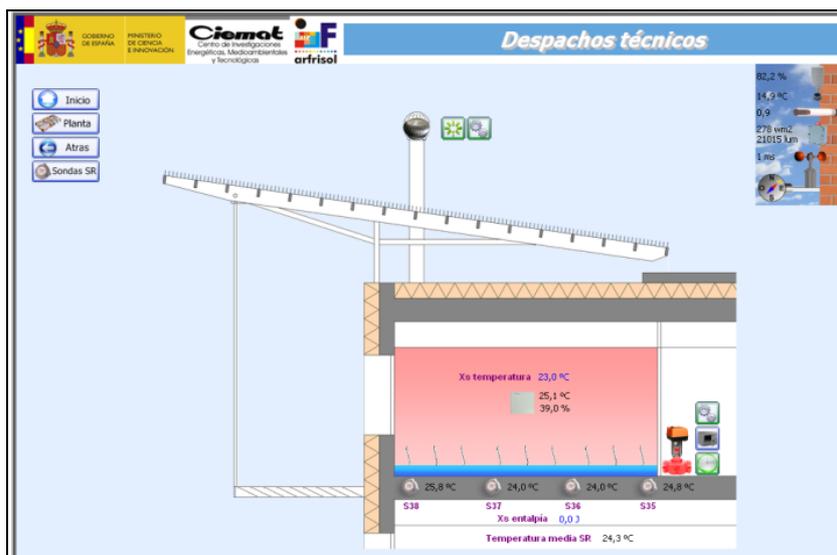
El esquema gráfico del comportamiento bioclimático del C-Ddl del CEDER (Soria) (Figura 12), responde a sus características técnicas (Tabla XVII). En las imágenes más representativas del C-Ddl del CEDER (Soria) que se muestran en la figura 13, se puede observar que su construcción está encaminada al ahorro energético y que obtiene unos excelentes resultados en la simulación (Tabla XVIII).

**Tabla XVII.** Ficha técnica del C-Ddl SP6- CEDER (Soria)

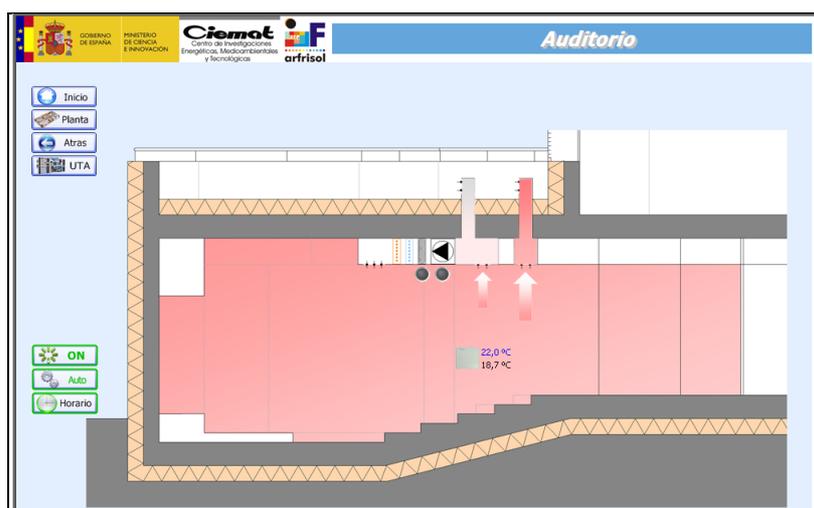
Solar térmica	Captadores solares (TIM) - Superficie instalada 126 m <sup>2</sup>
Frío Solar	5 máquinas de absorción - Potencia instalada 50-100 kW
Solar fotovoltaica	Potencia instalada 7.5 kWp
Climatización biomasa	2 Caldera de biomasa - Potencia 100 + 48 kW
Intercambio energético terreno	7 perforaciones verticales de 100 m



**Figura12.** Esquema gráfico del comportamiento bioclimático del C-Ddl SP6- CEDER (Soria)



Plano 14. Ventilación despachos del C-Ddl SP6- CEDER (Soria)



Plano 15. Ventilación auditorio del C-Ddl SP6- CEDER (Soria).



**Figura 13.** Imágenes más representativas del C-DdI SP6-CEDER (Soria)

**TablaXVIII.** Resultados obtenidos por simulación en el C-DdI SP6-CEDER (Soria)

Calificación Energética	Demanda energética (kW.h/m <sup>2</sup> .año)		Ahorros
<p>Certificación energética de edificios Indicador total de emisiones de CO<sub>2</sub></p>	Calefacción	Refrigeración	<p>Simulación Demanda Energética CEDER. Edificio</p>
42,21			13,07

### 3.2. SISTEMAS Y EQUIPOS DE MEDIDA.

Diversos estudios [2], [3], [4], han demostrado la relación existente entre la baja calidad del aire interior, debido a la presencia de contaminantes químicos y partículas, y la aparición del conjunto de estas molestias físicas presentadas por los usuarios. Como se recoge en trabajos previos realizados en el PSE-Arfrisol especialmente importante es la concentración de monóxido y dióxido de carbono, los formaldehídos, emitidos por resinas sintéticas y diversos materiales, y los compuestos orgánicos volátiles (VOCs), siendo estos últimos prioritarios para el presente estudio por la influencia que presentan sobre la calidad del aire interior de edificaciones [6], [7].

Considerando que el porcentaje de tiempo de permanencia en el interior de viviendas o edificios de oficinas puede cuadruplicar el tiempo de permanencia en exteriores, es evidente la gran importancia que tiene la calidad del aire interior: Un estudio realizado en 1995 en los Estados Unidos indica que el ciudadano medio consume un 88% de su tiempo en el interior de edificios más un 7% en su automóvil [3].

#### 3.2.1. SISTEMAS DE MEDIDA.

Las técnicas tradicionales de medida de COVS constan generalmente de unidad de muestreo, unidad de tratamiento y transferencia de los COVS, y unidad de cromatografía para el análisis, si bien en los últimos tiempos están proliferando aquellos sistemas de análisis automático (Tabla XIX).

**Tabla XIX.** Principales técnicas de análisis





**Imagen VIII.** Detalle de los 5 equipos de medición durante un muestreo en Asturias

### 3.2.1.1. SISTEMAS DE MUESTREO SOBRE SOPORTE FÍSICO.

Según el sistema de muestreo que lleven a cabo (Imagen VIII), se clasifican en muestreadores pasivos, aquellos que colectan las moléculas de COVS por simple difusión, sin involucrar ningún tipo de bombeo, y muestreadores activos, cuando el gas muestra se hace circular por bombeo a través del soporte de muestreo.

Los soportes pueden ser por adsorción en sólido, con compuestos carbonáceos-carbón activo, adsorbentes inorgánicos (sílice), polímeros o compuestos químicos (tenax), o por absorción en líquido, donde se hace pasar el gas muestra a través de la solución soporte, con técnicas como el borboteo, de manera que queda el gas muestra absorbido en la solución sólida. En los métodos de muestreo sobre soporte físico, es necesario tratar la muestra recogida antes de iniciar el proceso de análisis propiamente dicho. Según el método de muestreo empleado, la extracción puede ser hecha con solvente o por extracción térmica, también conocida como termodesorción, siendo mucho más utilizada esta última por ser más práctica, rápida y no necesitar solvente (producto tóxico para el ambiente).

Los sistemas de medida de muestreo sobre soporte, ya sea sólido o líquido, y posterior análisis en laboratorio, generalmente por cromatografía de gases/espectroscopia de masas, son técnicas baratas, sobradamente contrastadas, y que han dado muy buenos resultados analíticos, siendo

usadas como principal medio de análisis durante años [95], [96], [97]. Sin embargo, esta técnica tiene sus límites:

- Respuesta lenta, ya que es necesario analizar en laboratorio las muestras obtenidas.
- Alta especificidad de los muestreadores, de manera que la retención de un número elevado de compuestos no es posible.
- Resultados independientes del tiempo: esta técnica de muestreo no registra la posible existencia de picos en las concentraciones, responde lentamente a cambios en la concentración mostrando concentraciones medias en el tiempo.
- Uso de bajos volúmenes de muestreo, por lo que aparecen errores.
- Rápida saturación del adsorbente, según composición de los componentes
- del gas.

**Tabla XX.** Comparación de sistemas de análisis.

SISTEMAS DE ANÁLISIS			
Tipo de técnica	Características	Ventajas	Inconvenientes
Tubos colorimétricos	Vial de cristal con reactivo químico en el interior, reacciona ante la presencia de otra sustancia química o familia de productos químicos.	Alta selectividad, muy útil cuando se desea analizar un gas en concreto.	Lectura subjetiva y tiempos de respuesta muy largos. Su alta especificidad invalida la técnica en análisis de amplia gama de compuestos. No miden en continuo.
Sensores óxido-metal	Fina lámina de semiconductor de óxido metálico, cambios en la conductancia en presencia de ciertos compuestos.	Buena sensibilidad. Analizan una amplia gama de compuestos.	Operación a temperaturas elevadas (100-600 °C). Precio elevado. Baja precisión.
Espectroscopia de masas	Previa ionización de especies atómicas y moleculares presentes en el gas muestra, separación en función de su relación masa/carga.	Técnica fiable y ampliamente utilizada. Alta sensibilidad y capacidad de analizar una amplia gama de compuestos.	Necesidad de un sistema de muestreo para capturar el gas. Lentos tiempos de respuesta.
PID	Ionización de gas muestra a través de una fuente de luz UV, aplicación de corriente eléctrica cuantificable proporcional a la concentración de compuestos presentes.	Facilidad de uso. Alta sensibilidad y precisión.	Técnica menos utilizada y contrastada en calidad de aire interior. Elevado precio.
FID	Ionización de llama a través de un quemador de H <sub>2</sub> / O <sub>2</sub> , que piroliza los COVs. Detección a partir de los iones y electrones generados.	Versatilidad.	Necesidad de usar y transportar botellas de H <sub>2</sub> para análisis. Elevado precio.

### 3.2.1.2. SISTEMAS DE SEPARACIÓN.

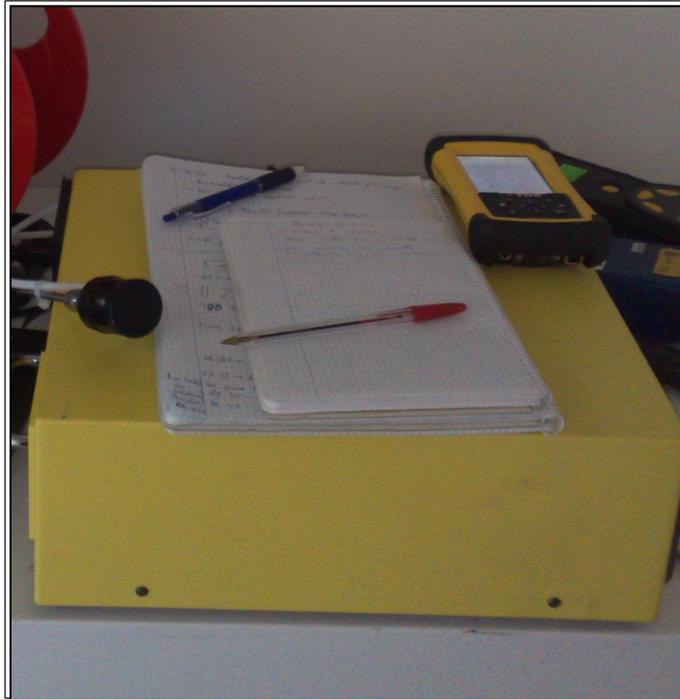
A partir del esquema sobre las distintas técnicas de detección que existen para el análisis de gases (Tabla XX), se observa que algunos sistemas de medida incluyen un paso previo de separación de gases, dado la alta selectividad que exigen las medidas. El procedimiento de separación de gases más usado en la actualidad es la cromatografía: una vez capturadas la muestra sobre algún tipo de soporte se procede a la recuperación del contaminante y su posterior separación por cromatografía de gases seguida de alguna técnica de detección [107], [110], [111].

Las muestras también pueden ser analizadas en continuo y, por lo tanto, “in situ”, con el uso de técnicas de detección portátiles, por ejemplo, de un cromatógrafo de gas/espectrómetro de masas portátil. De esta manera no sería necesario realizar un muestreo mediante soportes, ya sean adsorbente o absorbentes, ni el posterior análisis en el laboratorio [115], [116], [118].

### 3.2.2. EQUIPOS EMPLEADOS

#### 3.2.2.1. ANALIZADOR POR ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

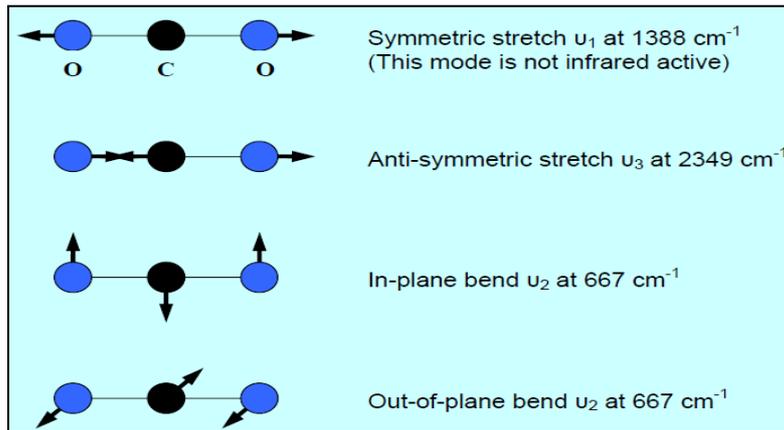
La técnica FTIR hace uso de la espectroscopia de infrarrojos (Imagen IX), y fue transformada de Fourier para la identificación de gases, siendo una técnica muy adecuada para aplicaciones en las que un gran número de compuestos han de ser analizados. Esta técnica ha sido muy utilizada en aplicaciones de sala blanca y en control de ambientes en cirugía, donde el mantenimiento de las concentraciones de determinados componentes por debajo de un límite es vital para el correcto desarrollo de las operaciones [121], [122].



**Imagen IX.** Detalle del FTIR durante un ensayo

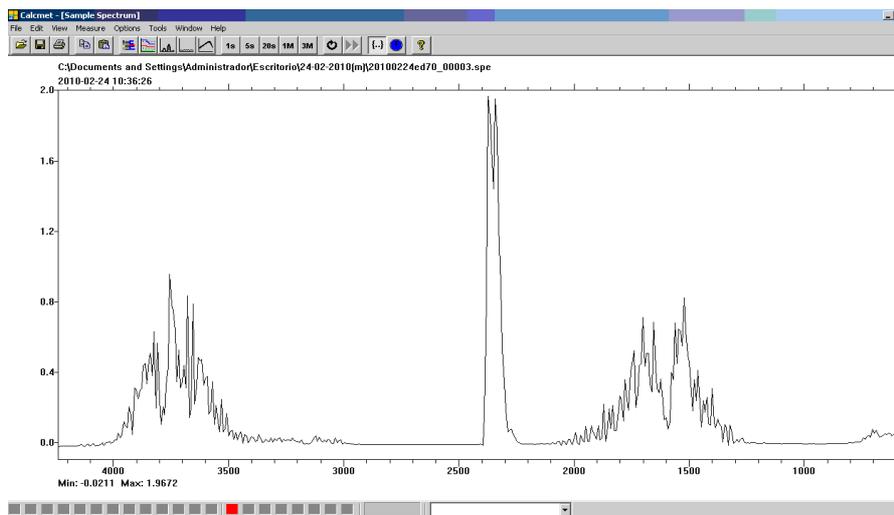
Las medidas por FTIR implican la emisión de una radiación electromagnética en frecuencia de infrarrojos, que atraviesa el gas muestra. La radiación emitida es modulada ópticamente mediante un interferómetro, gracias a lo cual se consigue un amplio rango de frecuencias y, por tanto, de longitudes de onda, pudiéndose irradiar las moléculas de gas presentes en la muestra. Esto permite conseguir una multitud de espectros en el infrarrojo que son recogidos a altas velocidades.

En este sistema de análisis se hace uso de los movimientos de rotación y vibración que tienen todas las moléculas en fase gas, como se observa en el gráfico II, estos movimientos moleculares, que tienen lugar a unas frecuencias características, están asociados a un estado energético específico; al ser radiadas electromagnéticamente, las moléculas absorben parte de esta radiación, produciéndose una excitación energética y un salto a un estado energético superior, con la consiguiente frecuencia de vibración específica asociada a ese estado energético. Cada molécula absorbe radiación infrarroja a una longitud de onda característica, única e identificativa, de manera que si se compara el espectro obtenido con espectros de referencia, se puede identificar los compuestos en función de la longitud de onda donde aparezcan los picos y la forma de éstos.



**Gráfico II.** Vibración característica de una molécula de CO<sub>2</sub>

El espectro de absorbancia no sólo muestra gráficamente las sustancias que están presentes (análisis cualitativo), sino también, a través de cálculos fácilmente realizados a partir de la ley de Beer y de conceptos como absorbancia y transmitancia, las concentraciones de estas sustancias presentes al ser proporcionales a la cantidad de radiación absorbida (análisis cuantitativo).

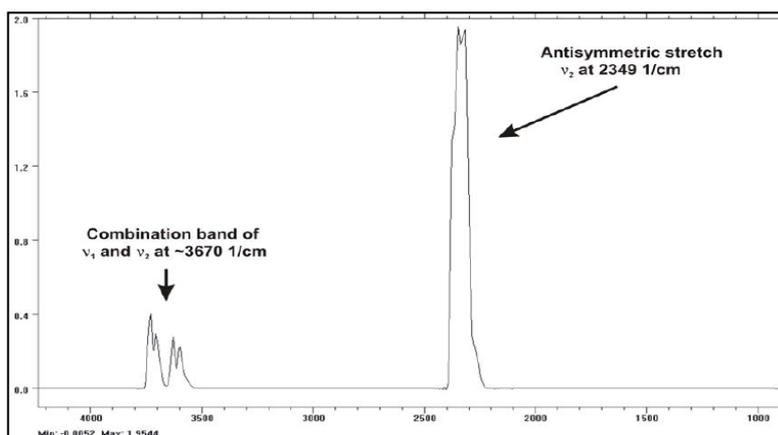


**Gráfico III.** Análisis de aire mediante técnica FTIR

A partir de la técnica de análisis FTIR (Gráfico III) se desarrolla un dispositivo - prototipo de medida adecuado a los objetivos del proyecto: un láser SiC emite radiación electromagnética, frecuencia de infrarrojos, que es modulada ópticamente mediante un interferómetro para ampliar el rango de frecuencias y longitudes de onda. A continuación se irradian las moléculas del gas muestra, que penetra al cuerpo principal del analizador gracias a una bomba que absorbe gas ambiente, a un caudal de 2-10 l/min. Cada molécula absorbe radiación infrarroja a unas longitudes de onda características; la radiación no absorbida es detectada por el propio dispositivo a una velocidad de 10

espectros por segundo, digitalizada y, mediante el uso de algoritmo de transformada de Fourier (FFT), convertida en un espectro IR (Gráfico IV). Podemos decir que cada espectro obtenido es único e identificativo de las sustancias que componen el gas muestra, de manera que si se compara el espectro obtenido con espectros de referencia, en función de la longitud de onda donde aparezcan los picos, se podrá identificar los compuestos [119], [120].

Gráfico IV. Espectro IR del CO<sub>2</sub>



En el prototipo desarrollado se obtienen de forma simultánea el análisis de hasta 50 componentes con una simple medida. Las interferencias que se pueden producir debido a la matriz de gases presentes en la muestra son compensadas de forma automática.

Como se ha comentado, la tecnología desarrollada se basa en dispositivos preexistentes, muy usados en aplicaciones de detección de gases tóxicos debido a la rápida respuesta que es capaz de mostrar el dispositivo. Sin embargo, no existen aplicaciones de control cuantitativo en continuo a bajas concentraciones, por lo que se desarrolla el prototipo descrito en colaboración con el equipo técnico de I+D responsable de los sistemas de análisis preexistentes. El desarrollo presta atención especial a los siguientes aspectos:

- Aumento de sensibilidad, con límite inferior de detección de 0,5-1 ppm.
- Aumento de especificidad, de manera que se amplía el rango de compuestos que es capaz de detectar el prototipo. Se incluye un área de "incertidumbre": si el sistema de medida detecta un compuesto, pero no se identifica en un primer análisis la naturaleza y composición, se marcará la zona de incertidumbre del espectro para tratar de identificarlo mediante estudios químicos complementarios. La base de datos del analizador podrá ser ampliada más adelante, con la carga de

nuevos compuestos, de manera que incluya este compuesto no identificado para posteriores análisis.

- Los aparatos preexistentes se manejan de manera fija, pero la aplicación de confort ambiental exige portabilidad. Para ello, se incorporan unas baterías que garantizan la autonomía del sistema, se propone el uso de materiales más finos y ligeros, aunque más resistentes que los usados habitualmente (latón), así como la incorporación de un adecuado sistema de transporte para un fácil manejo.
- Esta misma exigencia de portabilidad exige evolucionar la interfaz, de manera que se pase de un monitor fijo y estático, con conexión con el analizador por cable, a interfaz por PDA que recibe, almacena y muestra por pantalla, en tiempo real, los datos transmitidos desde el analizador gracias a una conexión por Bluetooth. Posteriormente, estos datos pueden ser cargados en un ordenador para su tratamiento y análisis.
- Facilidad de limpieza y fijado de la fuente de luz.

El prototipo desarrollado permite realizar, de manera rápida y simple, análisis exhaustivos de confort ambiental, con medida de CO<sub>2</sub>, humedad, temperatura y una lista detallada de concentración de COVs presentes, entre otros compuestos.

El dispositivo desarrollado como prototipo emplea técnica de análisis FTIR: un láser SiC emite radiación electromagnética, frecuencia de infrarrojos, que es modulada ópticamente mediante un interferómetro. Con este proceso se consigue un amplio rango de frecuencias y, por tanto, de longitudes de onda. A continuación se irradian las moléculas del gas muestra, que penetra al cuerpo principal del analizador gracias a una bomba que absorbe gas ambiente, a un caudal de 2-10 l/min. Cada molécula absorbe radiación infrarroja a unas longitudes de onda características; la radiación no absorbida es detectada por el propio dispositivo a una velocidad de 10 espectros por segundo, digitalizada y, mediante el uso de algoritmo de transformada de Fourier (FFT), convertida en un espectro IR. Podemos decir que cada espectro obtenido es único e identificativo de las sustancias que componen el gas muestra, de manera que si se compara el espectro obtenido con espectros de referencia, en función de la longitud de onda donde aparezcan los picos, se podrá identificar los compuestos.

Con la transformada de Fourier en el infrarrojo se obtiene de forma simultánea todos los espectros, lo que permite analizar hasta 50 componentes con una simple medida. Las interferencias que se pueden producir debido a la matriz de gases presentes en la muestra son compensadas de forma automática.

### 3.2.2.2. ANALIZADOR POR FOTOIONIZACIÓN (PID) PPB.

Un detector de fotoionización es, en esencia, un GC-MS en continuo, sin la columna de separación, por lo que presentan un reducido tamaño. El PID es un detector de espectro con alta sensibilidad, capaz de analizar una muestra o corriente de gas y determinar su concentración mediante técnicas de fotoionización. La detección por fotoionización ha sido muy utilizada en medidas de protección contra peligros de explosión y gases tóxicos y aplicaciones similares de prevención de riesgos laborales, siendo su aplicación en análisis de confort ambiental escasamente referenciada [113], [114].

La técnica de análisis de los sistemas de medida PID se basa en la emisión de luz ultravioleta - mediante lámpara de Kriptón, por ejemplo - que incide sobre la muestra o corriente de gas a analizar. Al pasar las moléculas del gas por delante de la lámpara e incidir sobre ellas la luz UV, absorben parte de esta alta energía, lo que produce la excitación de la molécula: pérdida temporal de un electrón con carga negativa y la formación de un ión con carga positiva. El gas muestra se carga eléctricamente, encerrando una masa de moléculas cargadas en su seno, por lo que se puede producir una corriente cuantificable mediante la aplicación de electrodos en su interior. Esta corriente es directamente proporcional a las cargas presentes y, por tanto, a la concentración de moléculas existentes. Tras la medida, al descargarse los electrodos, los iones se recombinan para volver a su forma original, de manera que este método es no destructivo, como puede ser, por ejemplo, el método FID [48], [49].

La fotoionización se basa en potenciales de ionización: todos los compuestos químicos se pueden ionizar si se aplica la energía necesaria para desplazar un electrón del seno de las partículas que forman dicho compuesto. Esta energía es conocida como potencial de ionización, característica de cada sustancia ya que es una medida de la fuerza del enlace que la forma. Los detectores por fotoionización son un método contrastado de medida de los compuestos orgánicos no volátiles en ambientes industriales. Estos instrumentos de lectura directa en continuo detectan niveles de concentración de COVs muy bajos: el rango de medida de los PID es de 0-2000 ppm, con una resolución de 0,1 ppm, límites de detección muy adecuados a las actividades planteadas en este estudio de calidad de aire interior y confort dentro de las edificaciones bioclimáticas, como en el Contenedor Demostrador de Investigación en Asturias, PSE-Arfrisol (Figura 14).



**Figura 14.**Contenedor Demostrador de Investigación en Asturias, PSE-Arfrisol

El sistema de análisis PID referencia las medidas en unidades totales, COVTs. El resultado del análisis realizado se muestra en unidades equivalentes de un único compuesto, isobutileno por defecto, al ser el gas utilizado en la calibración. Existen correlaciones y factores de corrección para poder transformar la lectura de COVTs en unidades equivalentes de concentración de cualquier gas deseado. Estos factores de corrección tienen una importante aplicación en el sistema propuesto, permitiendo la transformación de valores de concentración conocida, de cualquier compuesto, en unidades equivalentes de isobutileno. De esta manera se espera complementar la técnica FTIR: conociendo las concentraciones de COVs individuales, medidas por técnica FTIR, podremos transformarlas en unidades equivalentes de isobutileno. La medida de COVs totales (proporcionada por técnica PID) menos la suma de las medidas individuales (proporcionada por técnica FTIR), todas ellas calculadas en las mismas unidades equivalentes de isobutileno, será el número de COVs detectados pero no conocidos, sirviendo de base para el posterior trabajo de I+D en el que se procede a determinar los compuestos presentes detectados y recogidos por el espectro pero no identificados.

Las características principales del sistema de análisis por PID, se pueden observar en detalle en la Tabla XXI. (ver pág. siguiente).

**Tabla XXI. El sistema de análisis PID. Características principales**

PPB - RAE. Analizador por PID			
	Aparato de medida de contaminantes totalizados en PPB. Modelo RAE. Opera entre [- 20 / 50 °C] y [Atm +/- 10%]		
	Parámetros: bajas concentraciones de COV (0-2000 ppm) totalizados en equivalentes de isobutileno.		
	Batería recargable con la plataforma de carga, que también permite descargar los datos.		
	La toma de medidas tiene una duración ajustable, pero por defecto la dejamos en un minuto. Se genera un archivo con las medidas recogidas.		
<b>MENÚ PRINCIPAL / CONFIGURACIÓN</b>	Para acceder al menú, pulsar durante unos segundos "N/-" + el botón central. Introducir la contraseña, 0000, entramos al menú principal. Para desplazarnos por dicho menú, usaremos las teclas "Y/+" y "N/-" según la opción deseada.		
	Calibración:	Tipo de calibración: Calib. Cero o Calib. Span.	
	Medida:	Gas medida; Unidad medida (ppb / ppm).	
	Ajuste de alarma.	Límite alto; límite bajo; límite alarma; Alarma TWA; Modo de alarma; Zumbador y luz.	
	Registro de datos.	Borrar registro; intervalo; Selecc. de datos; Tipo reg. Datos.	
	Config. Del monitor	Cambio de fecha, de hora...	
<b>MEDIDA</b>	<b>Rango</b>	<b>Response Time</b>	<b>Desviación máxima</b>
<b>PPB</b>	1 ppb-10.000 ppm	2 segundos.	(+/-) 3 %
<b>Calibraciones</b>	Es necesario calibrar el equipo cada x meses.	<b>Lampara</b>	<b>Filtros</b>
			Es necesario cambiarlos.
<b>Observaciones</b>	La presencia de compuestos gaseosos a altas concentraciones puede interferir en la medida del formaldehído, empeorándola o haciendo que el aparato funcione lentamente. Las sustancias son acetona, dietil cetona,		

PPB - RAE. Analizador por PID			
<b>Funcionamiento</b>	1) Encender el aparato con el botón central. El aparato hace una prueba automática y comienza a medir inmediatamente tras un breve pitido.		
	2) Los archivos se guardan automáticamente en un fichero que se autonombra con la fecha de la medida.		
	3) Los datos se generan en medida total de ppb de isobutileno. Para traducirlos se usan los factores de corrección que se recogen en tablas.		
	4) Para visualizar los parámetros, debemos presionar "N/-" en la pantalla principal.		
<b>Descargar datos</b>	Preparar el programa ya instalado en el ordenador (ProRAE): abrir, seleccionar Operation; Setup; Others: COM7. Conectar, mediante cable desde la plataforma a puerto USB del PC, el analizador con el ordenador.		
	En la pantalla principal de medida del PPB, pulsar repetidamente "N/-", lo cual nos lleva por varias pantallas hasta acceder a la pantalla de "¿Entrar en com. PC y detener medida?". Seleccionar "Si" pulsando "Y/+". Si no se descargan los datos, en el PC seleccionar "operation" --> "Download Datalog", pinchar en aceptar y los datos se descargan.		
	Los datos aparecen en las fechas de toma de medida. Nos situamos sobre el evento, con botón izquierdo pinchamos y exportamos los datos a un archivo de texto. Ya podemos gestionar las medidas con Excel.		

	Tarea de comprobación	Resultado / Acciones a ejecutar.	Comprobación / Fecha
<b>Mantenimiento periódico interno y comprobación periódica de funcionamiento</b>	Comprobar si los filtros han caducado.	Encargar unos nuevos si han caducado. En caso contrario, OK.	
	Comprobar el estado de la pila.	Si está agotada o la luz roja está parpadeando, solicitar nuevas o comprobar si tenemos. Extraer siempre después de la comprobación o del uso.	
	Comprobar si la tapa está puesta.	Ponerla.	
	Comprobar si es necesario calibrar el equipo según fecha.		

### 3.2.2.3. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE PARTÍCULAS E IAQ.

Los aspectos claves del estudio integral del aire interior en las edificaciones bioclimáticas construidas en el PSE-Arfrisol son:

- composición del aire interior,
- eficacia de las técnicas de ventilación y número de renovaciones de aire interior por unidad de tiempo,
- posibles infiltraciones.

El equipamiento descrito previamente está enfocado principalmente al análisis de la composición de aire interior; para el estudio de ventilación, renovación de aire y posibles infiltraciones, se dota al proyecto de equipamiento de contadores de partículas e IAQ. Estos sistemas de medida son un complemento necesario a las técnicas descritas previamente, permitiendo obtener una medida integral de confort ambiental en continuo e “in situ”.

#### 3.2.2.3.1. EQUIPOS DE IAQ.

El equipamiento de medida de IAQ permite obtener medidas precisas de monóxido, dióxido de carbono, temperatura, y distintas características del aire como humedad, velocidad y temperatura de bulbo húmedo. El sistema es capaz de mostrar y almacenar hasta 5 medidas al tiempo. Se basa en técnicas ópticas para el cálculo de CO<sub>2</sub>, uso de termistores para el cálculo de temperaturas y sensor capacitivo de película delgada para los análisis de humedad relativa. Asimismo, se dispone de sensores de medida de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad en el interior de las edificaciones (Imagen X), midiendo de manera continua [58], [108], [109].



**Imagen X.** Sensores fijos en el interior del CD-dl de Madrid

Las medidas obtenidas con este equipo, ampliamente contrastado y usado en este tipo de análisis, permiten contrastar las medidas recogidas con el detector FTIR, así como con los sensores fijos. Las medidas de CO<sub>2</sub> y termo higrométricas son de gran utilidad para estudiar la correcta ventilación de los CD-dl [8] y [9].

#### 3.2.2.3.2. CONTADOR DE PARTÍCULAS ULTRAFINAS.

El laboratorio se equipa con dos sistemas de contadores de partículas ultrafinas:

- Contadores portátiles de partículas con rangos 0,02-1 micrómetro y 0,3-10 micrómetros. Flujo de absorción de aire ambiente de bajo caudal, totalmente configurable, de manera que se pueda obtener la cantidad de partículas entre dos rangos seleccionables, o el número de partículas totales menores de un tamaño determinado configurado por el propio usuario. Estos equipos son utilizados principalmente para conocer la eficacia de filtros así como en aplicaciones de detección de fugas, midiendo rango de nanopartículas con gran precisión.
- Rango de 0,02-1 micrómetros. Usado en investigaciones y aplicaciones industriales para seguir la pista y registrar fuentes de partículas e infiltraciones. Este sistema de medida es capaz de determinar la abundancia de partículas, caracterizándolas por masa y tamaño simultáneamente, mostrando la cantidad de miligramos por metro cúbico de polvo y aerosol en ambiente.

El equipamiento de contadores de partículas ultrafinas facilita la evaluación de las renovaciones de aire y sirve de instrumento de localización de infiltraciones. Asimismo, mediante el uso de este equipamiento se obtienen datos de rango de tamaños en el que se encuentra las partículas de compuestos del aire interior: el conocimiento del tamaño de partícula de los compuestos detectados pero no identificados por las técnicas FTIR, facilita el desarrollo de estudios químicos teóricos para poder identificar los compuestos no conocidos presentes en el aire analizado [110], [111].

Las características principales del sistema de análisis Equipos de IAQ, se pueden observar en detalle en la Tabla XXII.

**Tabla XXII. El sistema de análisis Equipos de IAQ. Características principales**

Qtrak - IAQ			
<b>QTRAK</b>		Aparato de medida de calidad de aire interior. Rango óptimo de trabajo entre 5 - 45 °C.	
		Parámetros: CO2 (ppm), CO (ppm), Temperatura, Presión, Humedad relativa.	
		Batería: 4 pilas AA.	
		Las medidas se realizan cada segundo, pero se pueden guardar la media de diferentes intervalos para evitar fluctuaciones.	
<b>Menú</b>	Mostrar configuración.	Encender las medidas que sean deseables.	
	Parámetros	Const. De tiempo: 30 seg (modificable según tipo de medida; preferiblemente 30 segundos).	
		Seleccionar unidades de medida.	
		Establecer hora: AJUSTAR (ESTO ES IMPORTANTE).	
		Otros ajustes...	
	Config. Caudal	Cond circ (por defecto)	
	Config Real / stad	Dejar la que haya por defecto	
	Almacenar dat	Medidas: Seleccionar las que se quiere ver por pantalla.	
		Guard param: fijar el tiempo de grabado de medidas.	
Elegir Test.			
Nombre del test: cambiar nombre si se desea.			
	Otros....		
Cero CO	- Es automático.		
Aplicaciones	- Placa; Caudal de calor; Turbulencia; % Aire exterior.		
Calibración	- Distintas opciones de calibración		
<b>MEDIDA</b>	<b>Rango</b>	<b>Precisión</b>	<b>Tipo de sensor</b>
<b>CO2</b>	0 - 5000 ppm	+ - 3 % de la medida ó +- 50 ppm (elegir el mayor).	Infrarrojo no dispersivo
<b>Temperatura</b>	0 - 60 °C	+ -0.6 °C.	Termistor
<b>Humedad relativa</b>	5 - 95 %	+ -3% de la medida ó +- 50 ppm (elegir el mayor).	Capacitivo de capa delgada.
<b>CO</b>	0 - 500 ppm	+ - 3 % de la medida ó +- 3 ppm (elegir el mayor).	Electro químico.
<b>Calibraciones</b>	Anuales. Necesario calibrar por el personal de TSI.	Última calibración	Próxima calibración:

Qtrak - IAQ	
<b>Funcionamiento</b>	1) Conectar la sonda de CO2.
	2) Encender.
	3) Comprobar batería a partir del icono en pantalla; cambiar pilas si es necesario.
	4) Se puede iniciar la toma de medidas pulsando la tecla central. Las medidas se guardan por defecto en el test activo en ese momento. Si se quiere parar la toma de medidas, pulsar Escape. Si se quiere cambiar el nombre del archivo donde se guardan los datos, pulsar Menú con la tecla central azul y cambiar el nombre.
<b>Descargar datos</b>	1) Conectar el QTrak con el ordenador a través del cable USB.
	2) Abrir el programa Qtrak. Seleccionar VelociCalc / Q-trak 7565; desplegar "File", seleccionar "Receive". Seleccionar el test deseado y pulsar "receive".
	3) Seleccionar el test deseado en la pantalla principal. Desplegar "File", seleccionar "Export" --> "Export Test data". Separar con "Tab".
	4) Se genera un archivo .txt, podemos abrirlo con Excel.

	Tarea de comprobación	Resultado y fecha
<b>Mantenimiento periódico interno y comprobación periódica de funcionamiento (mensual).</b>	Si se prevé que el equipo va a estar más de un mes sin ser usado: extraer las pilas. En caso de que estén colocadas, comprobar que no se encuentran en mal estado.	
	Encender el equipo. Comprobar que mide sin problemas: aparece por pantalla las medidas seleccionadas y se actualizan cada segundo.	
	Comprobar el estado de la memoria en: Menú; Almacenar dat; % Memoria. Si es inferior al 80%, descargar datos o borrar los ya descargados.	

### 3.2.2.4. ANALIZADOR DE FORMALDEHÍDO.

Las características principales del sistema analizador de formaldehído se pueden observar en detalle en la Tabla XXIII.

**Tabla XXIII.** El sistema analizador de formaldehído. Características principales

Analizador de formaldehído.			
<b>Analizador de formaldehído.</b>		Aparato de medida de formaldehído ; modelo ZDL - 300. Opera entre [- 20 / 50 °C] y [Atm +- 10%]	
		Parámetros: Formaldehído (ppm). Tiempo de respuesta: <60 segundos.	
		Batería: 1 pila de 9 V. Dispone de una alarma de 80 dB.	
		Las toma de medidas tiene una duración ajustable, aunque por defecto es de 480 minutos. El analizador actualiza los valores por pantalla cada 10 segundos.	
<b>MENÚ PRINCIPAL / CONFIGURACIÓN</b>	Para acceder al menú, debemos presionar "NO" cuando aparece por pantalla: measure?		
	UploadToPC?	Si pulsamos "NO", accedemos a más opciones.	
	EraseAll Data?	Si pulsamos "NO", accedemos a más opciones.	
	Alarm Set?	Si pulsamos "NO", accedemos a más opciones. La alarma está ajustada para concentraciones de 2 ppm. Pulsar "YES" para ajustarla.	
		Enable it? Y/ N.	"Yes" fija la alarma para que nos avise si se supera el valor fijado.
SetDate&Time?	Pulsar "YES" para ajustar la fecha y hora. Si pulsamos "NO", nos aparece la primera pantalla de "measure?"		
<b>MEDIDA</b>	<b>Rango</b>	<b>Response Time</b>	<b>Desviación máxima</b>
<b>Formaldehído</b>	0-30 ppm / Máx: 34 ppm.	< 60 segundos.	< 5% señal/año.
<b>Calibraciones</b>	<b>Número de certificado:</b>	<b>Fecha</b>	<b>Filtros</b>
	16/04/2422	10/01/2011	Los filtros es necesario que sean sustituidos cada 6 meses. Los que nos han proporcionado caducan el 28 de Agosto. La calibración debe ser anual.
<b>Observaciones</b>	La presencia de compuestos gaseosos a altas concentraciones puede interferir en la medida del formaldehído, empeorándola o haciendo que el aparato funcione lentamente. Las sustancias son acetona, dietil cetona y similares.		

Analizador de formaldehído.	
<b>Funcionamiento</b>	1) Encender con el tapón colocado. Si el piloto rojo parpadea, hay aproximadamente una hora de batería. Cambiar pilas si es necesario.
	2) Una vez encendido, el analizador muestra el modelo y el tipo de análisis, fecha, hora y la memoria disponible. El analizador pregunta si deseamos realizar una medida. Presionar "YES". Pulsar no si queremos acceder al menú.
	3) El analizador pregunta "F1 On? Press Y". No presionar nada: quitar la tapa e instalar el filtro 1, de color amarillo. Una vez colocado, presionar "YES". Aparece "F1 wait" durante un tiempo entre 30-180 segundos. Se obtiene una línea base de manera interna.
	4) Aparece por pantalla "F2 On? Press Y". No pulsar ninguna tecla: sustituir el filtro 1 de color amarillo, por el filtro 2, de color blanco. Pulsar "YES". El aparato comienza a medir.
	5) Aparece por pantalla "F" wait" durante 1 minuto aproximado, tiempo necesario para realizar una medida. Por pantalla sale "Measure Wait", y luego 1st PPM= X.XX". A partir de este momento se actualiza la medida cada 10 segundos.
	4) Con la tecla "No/ FIRST" se puede visualizar el primer valor de las medidas. Con la tecla "YES / AVE" podemos visualizar la media de las medidas realizadas durante todo el periodo del ensayo.
<b>Descargar datos</b>	6) Pulsar el botón OK/NEW durante 5 segundos para obtener una nueva medida o parar la toma de medidas. Si se desea parar la medida, es necesario pulsar "NO" cuando el analizador nos da la opción de hacer otra medida. A partir de aquí se inicia el paso 2, pero sin la prueba de filtros.
	Preparar el programa ya instalado en el ordenador: abrir, seleccionar "COM" en las pestañas, "open" --> COM1.
	Entrar en el menú principal, y seleccionar "YES" en "UploadtoPC?". Nos pregunta ""Pcready?". Enchufar el analizador. Pulsar la tecla "YES".
	Se descargan los archivos cargados. Borrar datos pulsando "YES" cuando nos preguntan "EraseAllData?". Guardar archivo donde necesitemos
Los archivos se pueden abrir con EXCEL.	

**Tabla XXIII.** Sistema analizador de formaldehído. (Cont.)

<b>Analizador de formaldehído.</b>			
<b>Mantenimiento periódico interno y comprobación periódica de funcionamiento</b>	<b>Tarea de comprobación</b>	<b>Resultado / Acciones a ejecutar.</b>	<b>Comprobación / Fecha</b>
	Comprobar si los filtros han caducado.	Encargar unos nuevos si han caducado. En caso contrario, OK.	
	Comprobar el estado de la pila.	Si está agotada o la luz roja está parpadeando, solicitar nuevas o comprobar si tenemos.	
	Comprobar si la tapa está puesta.	Ponerla.	
	Comprobar si es necesario calibrar el equipo según fecha.	En caso de ser necesario, mandar a fabricante para calibración.	

### 3.2.2.5. ANALIZADOR PORTÁTIL DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVS)) AIRMOVOC C6-C12.

Este analizador consiste en un cromatógrafo de gases de alto desarrollo con detector de ionización en llama (FID), y una preparación de muestra on-line. Está diseñado para el análisis de compuestos COV (benceno, tolueno etil-benceno, m,p-xileno y o-xileno) en muestras gaseosas, tanto en aire ambiente (100 ppt) como en rangos de concentración de emisiones (ppm).

El sistema está automatizado permitiendo la adquisición y tratamiento directo de datos.

#### Principio de medida.

La muestra de gas es tomada mediante una bomba externa, pasando a través de una trampa consistente en un tubo poroso que extrae los componentes del gas de acuerdo a su afinidad con distintas fases. Al insertarse la muestra la trampa es calentada para iniciar la desorción de los compuestos. La termodesorción está fijada a 380°C durante 240 segundos. La muestra gaseosa es introducida en la columna analítica por el gas portador [60], [61].

Posteriormente la columna es introducida en un horno programado para seguir un gradiente de temperaturas. Los componentes de la muestra fluyen por la columna a una tasa característica, en función de los puntos de ebullición y de las interacciones con la fase estacionaria.

En el extremo de la columna, el detector FID genera una señal eléctrica proporcional a la concentración de los compuestos de la muestra conforme fluyen por la columna. Esta señal es digitalizada para ser transferida a la CPU para el tratamiento de datos.

### 3.2.2.6. NO<sub>x</sub> SERIUS 40 DE ECOTECH PORTABLE.

Este es un equipo de detección de gases para mediciones de óxido de nitrógeno con un rango de 0 a 20 ppm y un límite de detección de 0,4 ppb.

Este equipo utiliza la detección de quimilumiscencia en fase gas para dar medida continua de NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno totales) hasta cuatro veces por minuto de la estancia donde se encuentra.

Es un equipo portable, puede ser fijado en armarios de tipo rack estándar gracias a unos adaptadores precisos para este fin, de esta forma se puede integrar al carro de medidas portable de un laboratorio, siempre y cuando tenga abastecimiento de electricidad, ya que no cuenta con baterías adaptadas para su autonomía [62], [63].

### 3.2.2.7. VOC'S CON TUBOS.

Este sistema se basa en la utilización de tubos con adsorbente dentro, acoplados a una bomba de vacío de bajo caudal, para poder tomar la muestra "in situ" de forma cómoda. Posteriormente estos tubos serán trasladados al laboratorio, para poder extraer los contaminantes adsorbidos mediante un equipo de Desorción Térmica Programada acoplado a un cromatógrafo de gases equipado con un detector de masas; el conjunto de este equipamiento nos permite la separación en una muestra de varios compuestos, para luego poder identificarlos por separado. Ayudándose de software así como de estudios previos ya realizados por el CIEMAT y otros trabajos de investigación, podemos conocer lo que se espera encontrar frente a los resultados obtenidos.

Será necesario para realizar la extracción de los gases concentrados en un adsorbente y su inyección automática en el detector de masas mencionado, un equipo de desorción térmica programada. Este equipo lo que nos permite, mediante unos cambios de temperatura programables (de -30° C a 300° C), un tiempo de acondicionamiento de la muestra también programable, su estructura de ingeniería, es inyectar la muestra previamente adsorbida en el CG –MS para su posterior análisis [66], [68].

Para tomar las muestras será necesario dos utensilios más, el adsorbente que es un tubo que contiene dicho adsorbente del cual ya se ha discutido en otros apartados y una bomba de vacío de bajo caudal para hacer pasar aire a través de dicho tubo y que obtengamos en menor tiempo cada toma de muestra.

Este adsorbente puede ser de diferentes tipos; conociendo los Compuestos Volátiles Orgánicos (VOCs) más frecuentes en el interior de edificios y basándonos en la experiencia de la Unidad en este campo, se han seleccionado dos tipos de adsorbente, "cromosorb" y "tenax"; actualmente se está valorando si continuamos recogiendo muestras y comparando entre estos dos adsorbentes o decantarnos por el que mejor resultados ofrezca [67], [69].

# 4 ■ PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

---

El procedimiento experimental ha sido llevado a cabo tanto *in situ* como *ex situ*.

## 4.1. MUESTREO Y ANÁLISIS EX SITU.

### 4.1.1. MUESTREO SOBRE SOPORTE SEGUIDO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO POR GC-MS.

El conocimiento y el trabajo experimental llevado a cabo con esta técnica constituyen el soporte y base del análisis cuantitativo de calidad de aire interior del PSE-Arfrisol y del desarrollo de los sistemas de análisis usados actualmente en el proyecto.

Los datos de composición son obtenidos mediante un cromatógrafo de gases automático; la evaluación de la linealidad, precisión, límites de detección y estabilidad de los tiempos de retención indican que el equipo empleado resulta adecuado para la medición automática del aire ambiental durante periodos prolongados (seis meses).

Los resultados logrados con este equipo presentan una correlación significativa con los obtenidos mediante el empleo de otras técnicas, ampliamente usadas en la determinación de VOCs en aire ambiental [70], [71], [72]:

1. GS automático.
2. GC portátil, equipado con un detector de fotoionización (PID).
3. Adsorción activa sobre Tenax-TA, seguida de una desorción térmica y análisis cromatográfico (ATD / GC-MS).

Teniendo este estudio presente, se determina que los resultados obtenidos en las tres técnicas son igualmente válidos, seleccionándose el método de adsorción activa como el más conveniente para los objetivos del estudio, con separación por desorción térmica y análisis cromatográfico. Además de ser un

método de eficacia y exactitud de análisis contrastado, permite cambiar el tipo de adsorbente en función de las necesidades del momento.

#### 4.1.2. ESTRATEGIA DE MUESTREO.

Se estudian los contaminantes más frecuentes que se pueden encontrar en los entornos sujetos a estudio y, a partir de aquí, cómo se puede identificar y posteriormente cuantificar estos COVs. En este caso se incluyen referencias realizadas por otra gran variedad de estudios de manera que se cubra una mayor gama de compuestos.

Paralelamente, se evalúan las necesidades y requerimientos del proyecto, los emplazamientos objeto de análisis (climatología, tipo de edificio, tipología arquitectónica y diseño del CD-dl), logística disponible, viabilidad y comodidad para la toma de muestras, de manera que se pueda proponer una adecuada estrategia de muestreo.

La elección del adsorbente – soporte físico donde se retienen los contaminantes - es ciertamente importante, pudiendo ser de diferentes tipos (Tabla XXIV); conociendo los Compuestos Volátiles Orgánicos (COVs) más frecuentes en el interior de edificios y basándose en la experiencia de la Unidad en este campo, se seleccionan dos tipos de adsorbente, “Cromosorb” y “Tenax”. Los tubos contenedores del adsorbente llevan acoplada una bomba de vacío de bajo caudal, para poder tomar la muestra “in situ” de forma cómoda.

**Tabla XXIV.** Características de los adsorbentes principales

Adsorbente	Tamaño de malla	Area superficial (m <sup>2</sup> /g)	Densidad (g/ml)	Temp.Máx. (°C)	Aplicación
<b>Carbones grafitados</b>					
Carbotrap	20/40	100	0.36	400	C <sub>5</sub> -C <sub>12</sub>
Carbotrap C	20/40	10	0.72	400	C <sub>12</sub> -C <sub>20</sub>
<b>Carbón tamiz molecular</b>					
Carbosieve S-III	60/80	820	0.61	400	C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>
<b>Polímeros porosos</b>					
Tenax TA	60/80	35	0.25	350	C <sub>5</sub> -C <sub>26</sub>

Una vez fijadas las muestras de aire en los soportes Tenax y Cromosorb, son trasladadas al laboratorio para realizar, mediante un equipo de Desorción Térmica Programada (ATD-400 de Perkin Elmer) la extracción de los gases concentrados, mediante unos cambios de temperatura programables (de -30° C a 300° C) y, tras la extracción, su inyección automática en el detector de masas acoplado para su inmediato análisis [83], [84]. Este sistema acoplado se trata de un cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (HP5890 /

5971), que utiliza una columna de Agilent Technologies 122-5532 DB-5MS CATno 5860 de 30 m de largo x 0,25 mm x 0,25 µm.

#### 4.2. MUESTREO Y ANÁLISIS *IN SITU*.

Gracias a la metodología descrita, se obtienen valores relativos de contaminantes en el interior de los edificios, equivalentes de unos análisis a otros, de manera que se puede comparar los edificios de referencia y conocer si la presencia de contaminante es mayor en uno o en otro. El sistema de muestreo sobre soporte físico seguido de análisis en laboratorio por ADT / GC-MS presenta una serie de desventajas para los análisis previstos: el mayor inconveniente encontrado es su escasa utilidad al nivel de las concentraciones encontradas en el interior de las edificaciones, siendo necesario hacer circular una gran cantidad de aire por el adsorbente para disponer de una concentración capaz de ser analizada, desvirtuándose las medidas. Además, estas medidas tienen que ser analizadas en laboratorio, y no responden o informan ante cambios instantáneos en la concentración circundante, lo cual dificulta la realización del tipo de análisis deseados en este trabajo de investigación.

Por estos motivos, en el segundo bloque de trabajo del presente estudio se pretende desarrollar sistemas adecuados para los análisis de caracterización y muestreo de contaminantes a la concentración existente en el interior de los CD-dl Arfrisol, de manera que se proponga una metodología propia de medida que facilite un control cuantitativo de contaminantes fiable, que actúe de manera flexible, autónoma y rápida, con técnicas correctamente validadas y fácilmente reproducibles. A partir de la experiencia recogida anteriormente con los sistemas ATD-GC-MS, se propone el uso de técnicas y metodologías de innovadora aplicación en análisis de confort ambiental: análisis de infrarrojos por transformada de Fourier, y análisis por fotoionización (PID). Estos sistemas de medida se complementan con técnicas de contadores de partículas e IAQ, ya usadas previamente en análisis de calidad de aire interior [89], [90].

El desarrollo de prototipos y metodologías de análisis adecuados para los sistemas de medida propuestos se realiza a partir de equipos ya existentes basados en las técnicas citadas. El trabajo de adaptación se lleva a cabo en conjunto con los fabricantes de dichos equipos y el cuerpo técnico de I+D relacionado, de manera que se obtengan respuestas adecuadas a las necesidades descritas, dotando al proyecto PSE-Arfrisol de un equipado laboratorio enfocado a la evaluación cuantitativa de las condiciones de confort ambiental en las edificaciones CD-dl desarrolladas. Los sistemas de medida planteados tienen la ventaja de medir “in situ” y en continuo, con límites de

detección al nivel de 1-0,5 ppm, de manera mucho más ágil y flexible que los usados hasta ahora. Los trabajos que se desarrollan actualmente tienen como objetivo la validación de los equipos desarrollados, de manera que se pueda asegurar que las medidas cuantitativas obtenidas son reproducibles y fiables [91], [92].

#### 4.2.1. FTIR DX4030.

El sistema de muestreo de este equipo, al ser un prototipo basado en un sistema de detección de escapes de gases para salas blancas de quirófano y por lo tanto estático, hubo que hacerle ciertos ajustes para darle el carácter de portable.

Los primeros ajustes que hubo que mejorar fueron de carácter físico, por una parte se le adaptó un sistema de batería intercambiable con el sistema eléctrico, que a su vez tuvo que ser modificado para que fuese independiente y extraíble. Otro de los ajustes fue de carácter mecánico, para que pudiese ser transportable, se le adaptó una nueva carcasa sin pantalla y capaz de ser llevada en una mochila creada para este fin. De estos ajustes se deriva la necesidad de dotarlo de un sistema de conexión bluetooth a una pda externa, lo que conlleva adaptar el software de ordenador a pda. Para que fuesen eficientes las lecturas recibidas, se creó con patrones de calibrado una librería de compuestos basados en los datos obtenidos de las medidas basadas en tubos adsorbentes ya comentados y posterior análisis por ATD gases masas en laboratorio.

A partir de este momento se puede dar comienzo a ensayar el equipo y probar sus resultados. En una primera instancia los resultados fueron muy satisfactorios, pero al transportar el equipo a otros entornos de medida, los resultados que se obtenían carecían de cierta lógica e incluso al comparar estos datos con otros sistemas de medida de COVs en paralelo no guardaban correlación en muchos casos.

Después de un minucioso estudio del sistema de medida del equipo, las alteraciones hechas para dotarlo de movilidad y comparándolo con la puesta en marcha que se le hace a este tipo de equipamientos que se destinan a una ubicación fija, se hicieron unos primeros ensayos dentro del laboratorio con el equipo de forma estática y calibrándolo desde el inicio cada día de utilización. Tras estos ensayos realizados en el laboratorio analizando la contaminación ambiental con otros equipos de medida convencionales que cuantifican algunos de los contaminantes más comunes, como CO<sub>2</sub>, y otros datos ambientales como humedad, se observa que los resultados obtenidos por el DX4030 son lógicos, fiables y acordes con el resto de resultados obtenidos

Una vez comprobado que el equipo de forma estática responde a las expectativas, se da el paso de observación del mismo en posición vertical y movimiento. La gran ventaja que se encuentra es que la determinación de los compuestos es inmediata, teniendo otros equipos que analizan algunos de los contaminantes que también analiza este equipo, se observan grandes variaciones en los resultados obtenidos [93], [94]. En un análisis de los resultados obtenidos por los equipos, ya en el ordenador, se observa que al continuar durante un espacio prolongado de tiempo en la misma estancia, el DX4030 va ajustando los valores que obtiene a los resultados mostrados con los otros equipos de los contaminantes tipo tomados como referentes.

Se procede a observar los resultados que se obtienen dejando el equipo en vertical y estático y recién calibrado; como es de esperar el equipo responde adecuadamente. Si el equipo está en movimiento pero sin cambiar de estancia, los resultados siguen siendo acordes con la realidad. No obstante al cambiar de estancia, parece que los resultados que se obtienen no son fiables, ya que en ocasiones son coincidentes y en otras tienen ciertas derivaciones.

Se procede a realizar otro estudio del funcionamiento interno de la cámara, donde en conjunción con el fabricante, se puede llegar a la presunción que el equipo necesita un tiempo de adaptación tanto en un transporte largo por diferencias de presión ambientales, como en un transporte corto en funcionamiento, porque no hay tiempo suficiente para proceder al limpiado de la cámara.

Los trabajos que se derivan de esta observación son; modificar el software de la PDA para que podamos variar los tiempos entre medidas y el tiempo de toma de muestra para su posterior análisis y realizar un procedimiento de laboratorio estándar que incluye el calibrado con Nitrógeno y unos tiempos de adaptación del equipo a la posible nueva presión atmosférica.

De esta manera, se desarrolla el procedimiento de puesta a punto y calibrado del equipo que se muestra en su ficha para que sus posteriores mediciones in situ sean fiables y reproducibles como se describe a continuación. Una vez comprobado el correcto funcionamiento del DX4030, se acondiciona para iniciar la medición en edificios.

Antes de cada muestreo, se posicionaban los equipos en el lugar de medida, cargando baterías y acondicionándose a los valores de temperatura, presión, humedad, etc, del entorno, durante toda la noche. Antes del inicio de cada medición se procedió a la estabilización de cada equipo, según los procedimientos establecidos.

Durante los muestreos se transportaron los equipos a cada despacho/punto medida, con un tiempo de permanencia mínimo de 5 minutos en cada punto, tiempo que viene condicionado por el DX4030, el cual toma muestras a intervalos de 1 minuto, con lo que se necesitan 5 minutos para obtener las 3 mediciones necesarias para obtener un valor representativo (desestimando primera y última medición).

Una vez terminado cada muestreo, se anotaba el tiempo empleado y la capacidad de las baterías con la que cuentan los equipos, para tenerlo en consideración para la siguiente batería de medidas.

# 5 ■ RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

---

En este apartado se presentan los resultados más relevantes de nuestro estudio (Figuras 15 a 151) y su discusión. El capítulo está organizado de tal modo que se muestra en primer lugar el cronograma de los lugares/contenedores analizados, los días y horas efectuados y los equipos de medición empleados. A continuación se muestran los gráficos resultantes de los distintas tomas de muestras en los distintos contenedores, con la relación de los días de medida y las gráficas justo antes de cada día de medida, además de su comentario correspondiente justo después.

Teniendo en cuenta el numeroso volumen de datos numéricos correspondientes a cada una de las mediciones efectuadas para cada contenedor, se ha optado por incorporarlos en el Anexo II del CD que acompaña a este volumen.

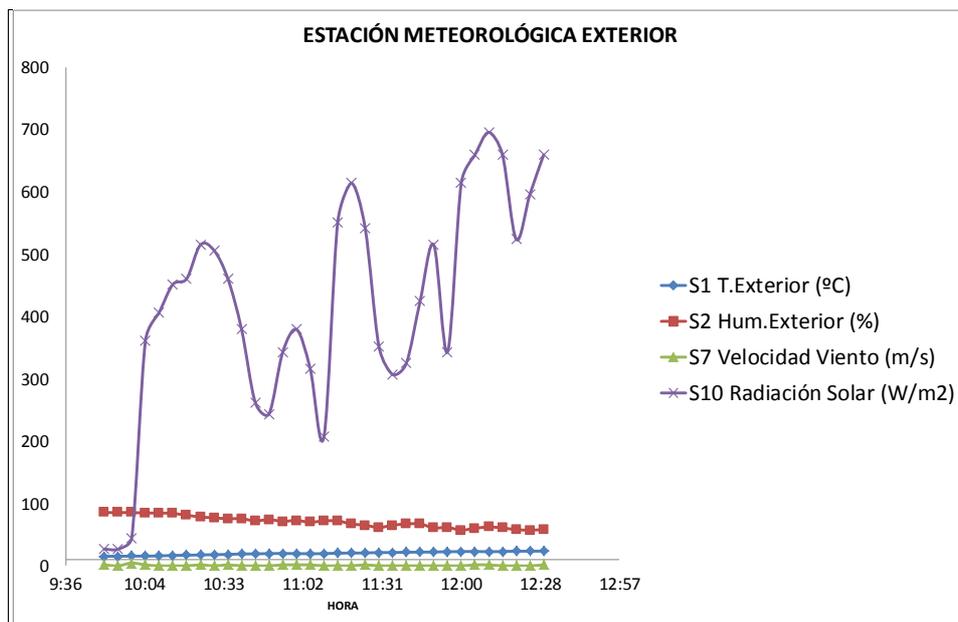
## 5.1. ESCENARIO DEL C-DdI SP5-FUNDACIÓN BARREDO (ASTURIAS). TOMA DE MUESTRAS.

En esta edificación existen dos accesos, uno por la cafetería habitualmente cerrado para no perder energía de climatización y otra por el pasillo de las aulas, que es el acceso habitual de entrada, donde se analizan primeramente esas estancias, posteriormente la cafetería buscando horarios donde esté tanto en uso como sin ocupación, para terminar en el hall, espacio de altura máxima de la edificación. En este momento subimos a la planta primera y hacemos el recorrido inverso al realizado anteriormente; para tomar muestras de la contaminación exterior después de analizar la sala de reuniones, en función de la climatología del día, retornando al pasillo hay que subir a la buhardilla de la edificación, si es posible será utilizado el ascensor ya que el acceso no es muy recomendado trasportando equipos. Este recorrido suele ser de larga duración, pero considerando que la edificación está arrendada a una empresa privada hay que considerar las necesidades del día de éstos para poder disponer del Contenedor y realizar las evaluaciones fruto de este estudio.

Los aparatos referencian sus resultados en tiempos similares, pero como no se utilizan los mismos equipos siempre en cada día de medida y estos son muy diferentes, como se explica en el apartado de Instrumentación, se analiza en una primera instancia su evolución temporal dentro del período de medida realizado, de esta manera se observan gráficamente las posibles diferencias y cuándo ha sido necesario un análisis exhaustivo de los resultados para poder determinar lo sucedido en estancias concretas. Se han utilizado herramientas matemáticas para ajustar los tiempos y poder observar los resultados sincronizados en el tiempo.

### BARREDO 14/06/2012

En esta etapa de medición (Figura 15), se puede observar que una vez entrada la mañana debida a la ubicación geográfica de este emplazamiento situado entre montañas la presencia de la radiación solar se hace efectiva a partir de las 10h y va en aumento a medida que pasa el tiempo, consecuentemente va acorde de un incremento de temperatura, a la cual se asocia una bajada de la humedad que se había acumulado en esta cuenca durante el periodo de noche.



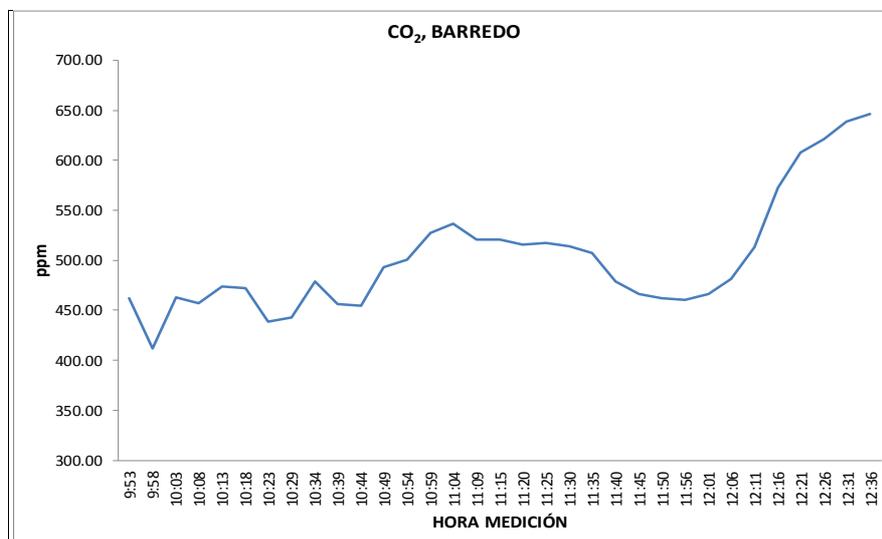
**Figura 15.** Datos matutinos estación meteorológica exterior. C-Arfrisol, Asturias

En este punto álgido donde se han combinado las variaciones de temperatura, humedad y radiación, también se ha notado un incremento en la velocidad de viento, que puede ser natural y casual del exterior de la cuenca, pero también puede ser consecuente del movimiento de aire que se ha producido al recibir la superficie dicha radiación solar, lo que ha provocado una pérdida de humedad

en aire y calentamiento del entorno, ya que la estación meteorológica se encuentra en la azotea de esta edificación.

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS

En este día de medida, el recorrido utilizado para el análisis de los contaminantes ha sido el habitual, empezando por la zona de despachos, siguiendo en la misma planta hasta la aula magna y la terraza exterior, posteriormente planta alta y finalizando en la planta baja donde se encuentra la cafetería (sala de comedor sin servicios, lugar apto para comidas de los empleados, no se utiliza cocina), el hall, las estancias de baños y maquinaria para el control y climatización de la edificación.

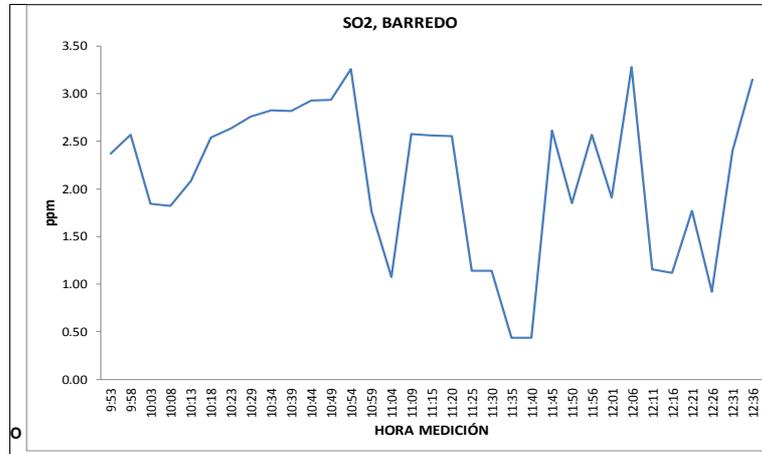


**Figura 16.** Medición de CO<sub>2</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias

Un valor de referencia medio del exterior de la zona son 450 ppm que tal y como se observa en la gráfica (Figura 16) es el valor acumulado durante la noche y es el valor de partida, se observa un descenso puntual en un despacho que no tiene ocupación, pero el resto mantiene la concordancia del valor de referencia exterior, acorde al ligero incremento de CO<sub>2</sub> a medida que pasa el día por el aporte de los trabajadores. El gran ascenso del final de la gráfica es debido a la finalización de las medias de análisis que como ha quedado expresado anteriormente finalizan en la sala de máquinas que no cuenta con una buena ventilación y sin embargo albergan una amplia gama de instrumental y equipamiento con ciertos consumos eléctricos y aportes de contaminantes entre otros del tipo CO<sub>2</sub>.

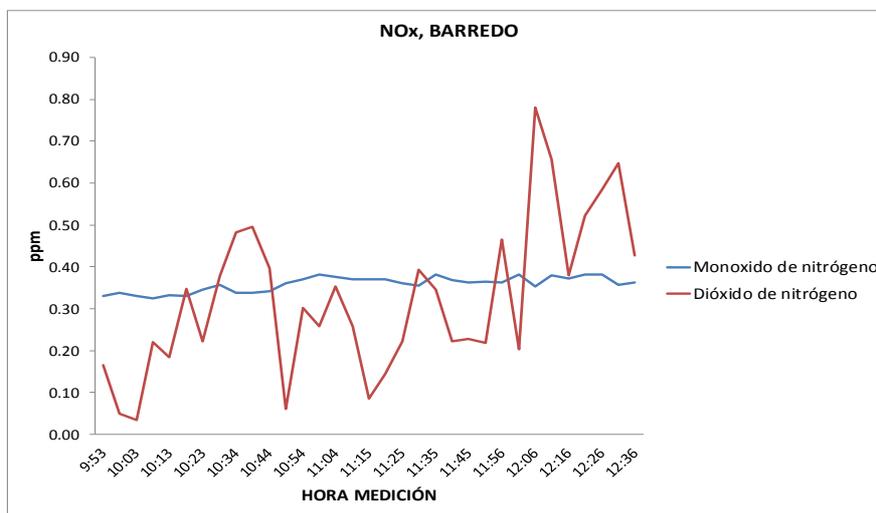
A pesar de las mediciones de los SO<sub>x</sub> son habituales en calidad de aire en interior, donde habitualmente se toman es en exteriores, fundamentalmente en ciudades ya que como indicativos de contaminación ambiental toman gran

importancia como precursores de contaminación. En este caso (Figura 17), su presencia es casi nula, pero detectable en estos niveles con el equipo apropiado.



**Figura 17.** Medición de SO<sub>2</sub> de C-Arrisol, Barredo. Asturias

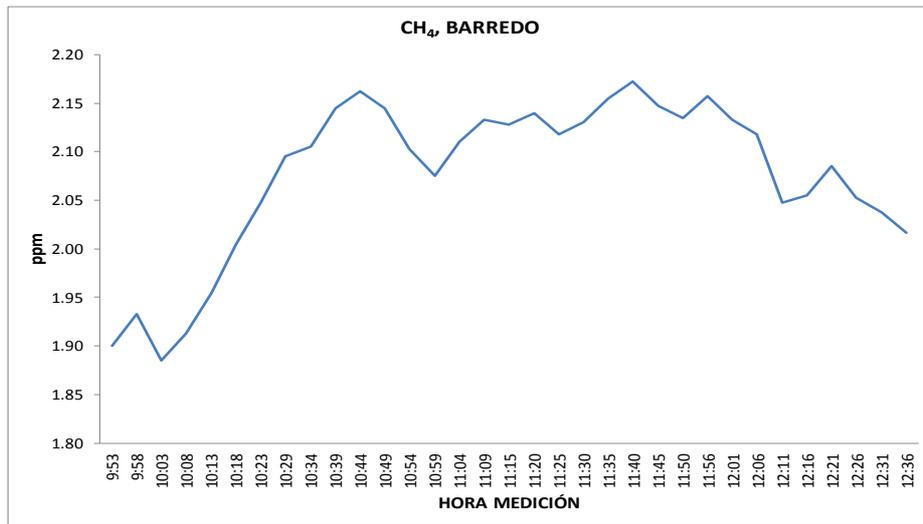
Su presencia es un indicativo de la baja contaminación en el interior y teniendo en cuenta que los tres picos observados se han registrado en el exterior de la edificación (terraza, azotea y exterior) esta es una contaminación ajena a la edificación y que ésta no cuenta con ningún tipo de filtro para esta clase de contaminantes.



**Figura 18.** Medición de NO<sub>x</sub> de C-Arrisol, Barredo. Asturias

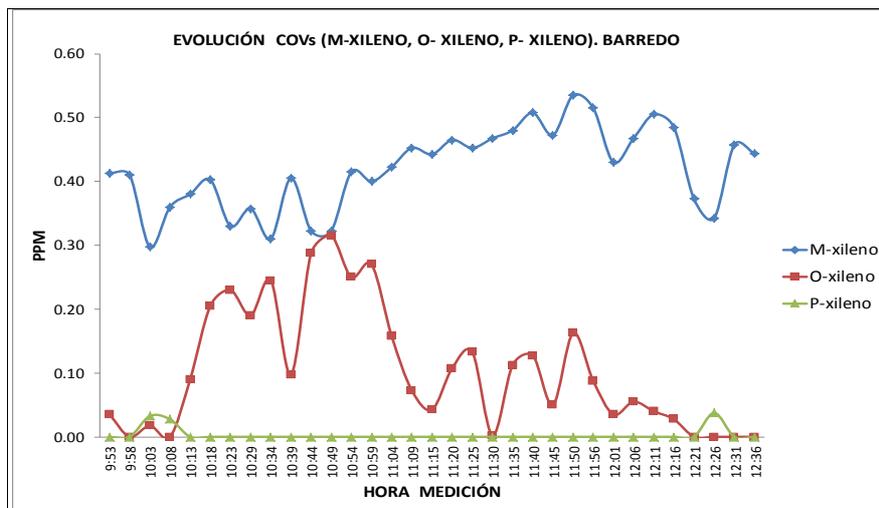
En esta representación (Figura 18), se puede observar bien diferenciado como el NO se mantiene estable indiferente a los posibles aportes que pueda tener esta edificación, mientras que el NO<sub>2</sub> si se ve afectado por la ubicación y las personas o equipos que estén en ese lugar trabajando o funcionando.

Por otra parte es grato observar dos detalles que son dignos de consideración, por una parte si se hubiese utilizado un equipo que totalizase los NOx no se hubiera podido hacer la mencionada diferenciación; y por otra parte, a pesar que en la gráfica de esta medida hay varios picos, la evolución va en ascenso con el paso del tiempo y la llegada a la planta baja, que ya se ha observado en otros contaminantes que es la más afectada.



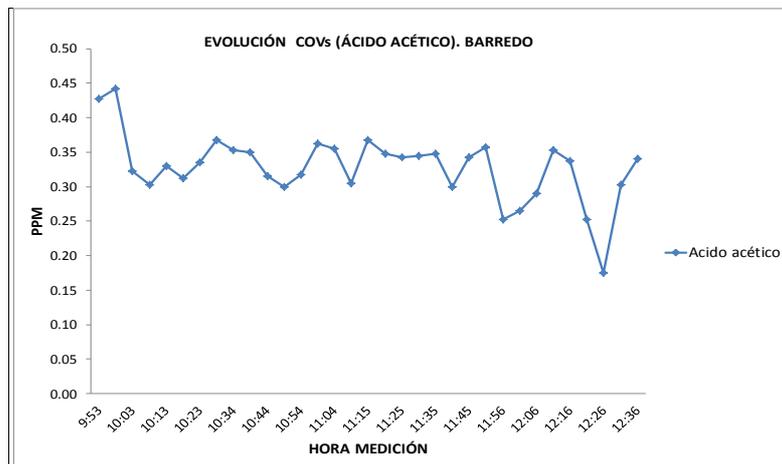
**Figura 19.** Medición de CH4 de C-Arfrisol, Barredo. Asturias

Podemos observar (Figura 19), como uno de los contaminantes no esperados de encontrar en una edificación destinada a oficinas de trabajo, el metano, se observa presencia del mismo y que va en aumento a medida que avanza la jornada laboral y su presencia queda disminuida al llegar a las zonas de ocupación de maquinaria sin presencia de personal.



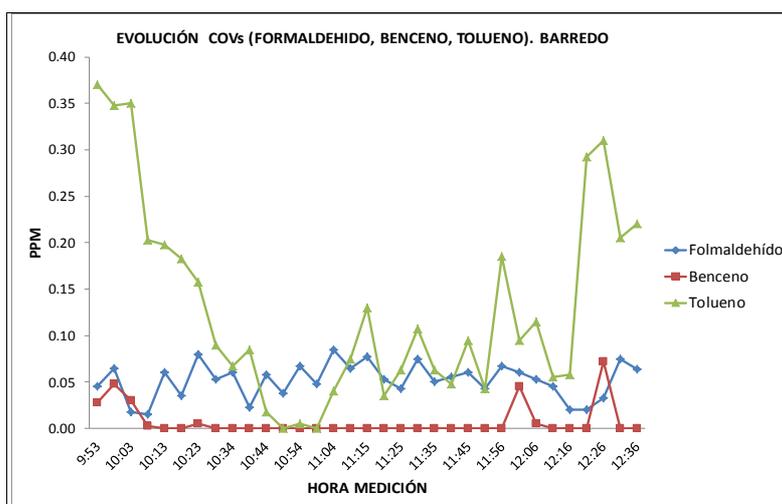
**Figura 20.** Medición de contaminantes del tipo xilenos. C-Arfrisol, Barredo. Asturias

La observación de contaminantes del tipo xilenos en sus tres variaciones (Figura 20), deja constancia de su presencia, bien sea por derivados del material de construcción o materiales propios de las oficinas y despachos. Esto será discutido más adelante y contrastado con otros resultados encontrados. En cualquier caso su presencia es tan baja que sería indetectable con equipos convencionales de medida.



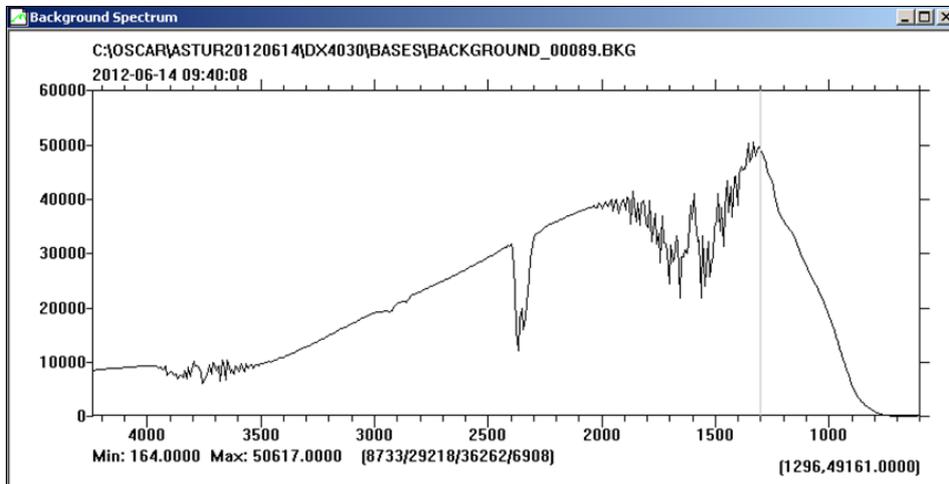
**Figura 21.** Medición de ácido acético. C-Arfrisol, Barredo. Asturias

Uno de los contaminantes frecuentemente analizados en las condiciones de trabajo, dentro de la prevención de riesgos laborales, para industria es la concentración de ácido acético. A partir de unos valores límite se puede considerar de riesgo, aunque este nivel de contaminación no sería detectado con las técnicas tradicionales de medida, sí se ha observado que en despachos y oficinas de esta edificación hay presencia (Figura 21).



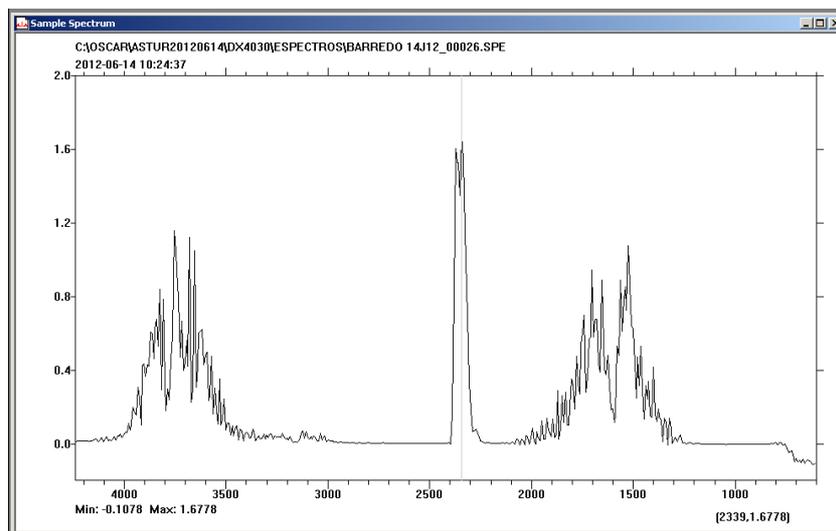
**Figura 22.** Medición de formaldehído, benceno y tolueno. C-Arfrisol, Barredo. Asturias  
Esta representación (Figura 22) del comportamiento de los contaminantes más destacados por presencia en estas mediciones de la parte de la jornada laboral

más intensa de este día, indica que todos ellos se encuentran en una concentración muy baja, o nula. Otra de las observaciones que se interpreta de la gráfica (Figura 23) es que el sistema de medida seleccionado para bajas concentraciones es adecuado para este caso.

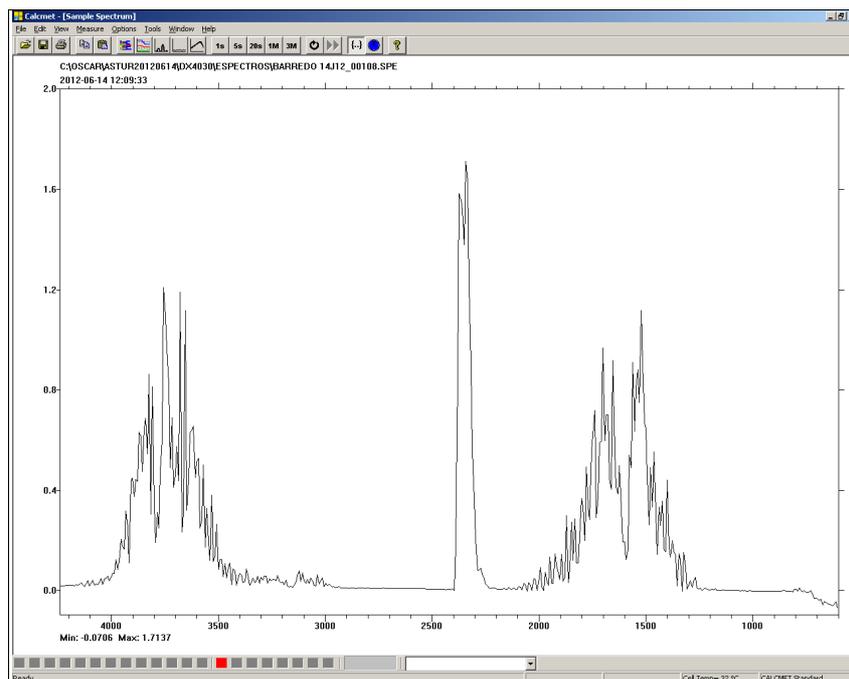


**Figura 23.** Espectro generado por el sistema de medida para bajas concentraciones del contaminante estudiado. C-Arfrisol, Barredo. Asturias

Este es el espectro generado (Figura 24) de la línea base del equipo DX4030 que para verificar que las medidas realizadas son correctas debe cumplir con unas especificaciones que marca el fabricante, en este caso es perfectamente válido.



**Figura 24.** Espectro generado de la línea base del equipo DX4030 para verificar las medidas realizadas en C-Arfrisol, Barredo. Asturias



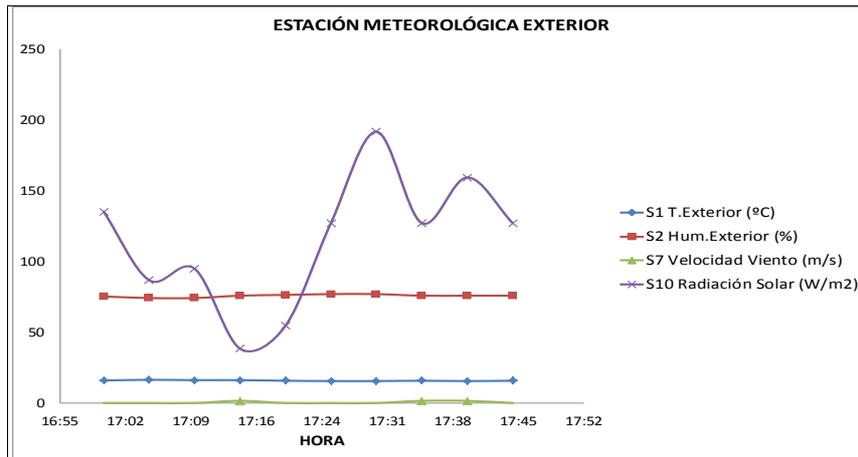
**Figura 25.** Interpretación directa del espectro por el propio programa

Los espectros mostrados anteriormente se corresponden con dos de los análisis realizados en las medidas de este día, en un caso se muestra con el marco del programa original del fabricante (Figura 23) y en el otro, solamente el espectro (Figura 24). Ha sido necesaria la interpretación directa del espectro en algunos casos para poder resolver señales similares que podrían haber sido interpretadas por el propio programa como el mismo elemento (Figura 25), no en los casos que han sido motivo de estudio.

### BARREDO 21/05/2012

En esta tarde de mayo, el día es el clásico de la zona, un día nublado, con una temperatura y humedad estable a lo largo del día, fresco pero sin lluvia y con ligeras rachas esporádicas de viento (Figura 26).

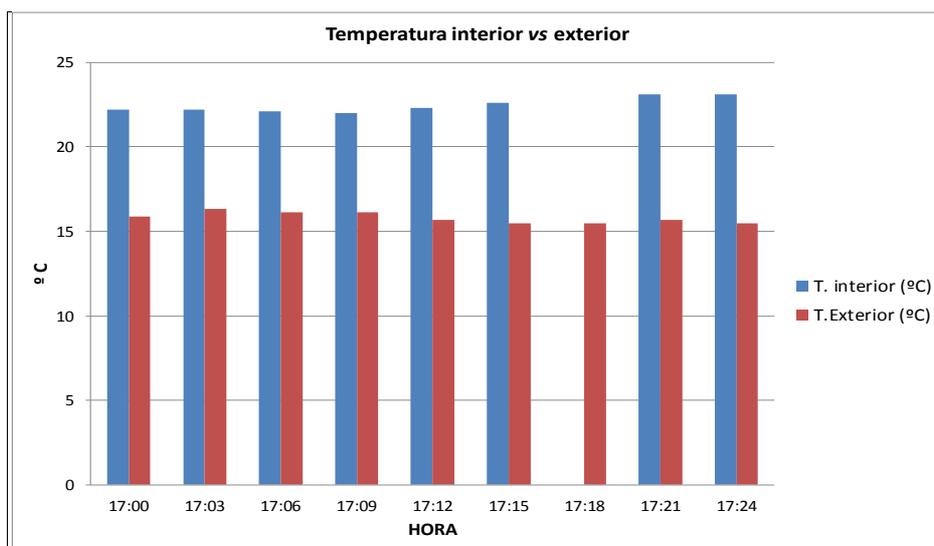
En este día la edificación estaba con una ocupación bastante elevada de trabajadores y el sistema de ventilación (UTAs) funcionando, esto implica que las ventanas estén cerradas para el correcto funcionamiento de la climatización mecánica; no sólo estaban las ventanas cerradas sino que también lo estaban las puertas.



**Figura 26.** Datos meteorológicos. C-Arfrisol, Asturias. (21/05/2012)

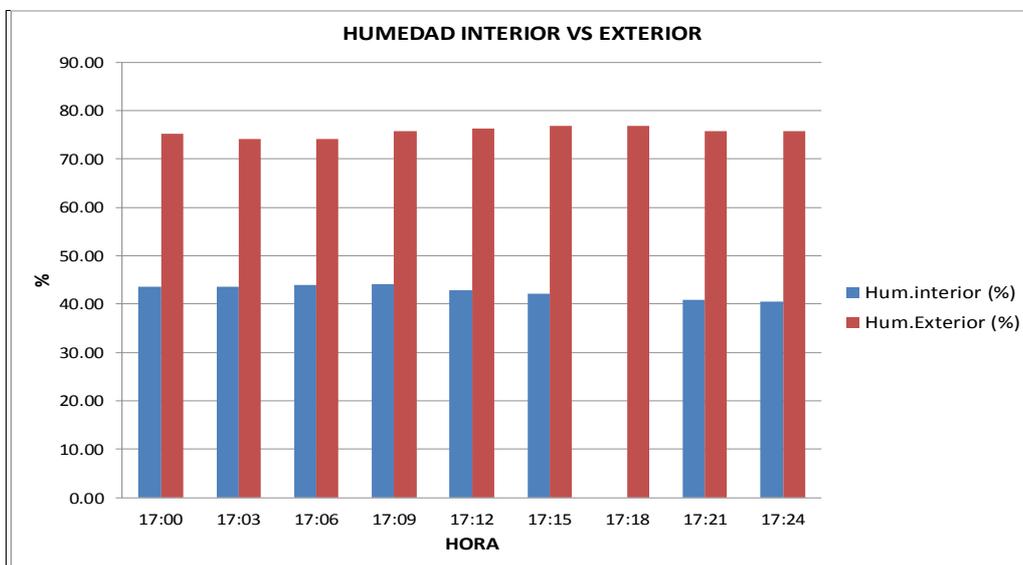
El recorrido que se ha realizado es el habitual de este Contenedor, considerando que la zona de mayor importancia es donde la climatización está en funcionamiento, de ahí que sólo se muestree en las plantas primera y baja; se comienza la toma de medidas por la zona de despachos, para llegar a la sala de reuniones y la terraza exterior de esta, luego se desciende al hall, sala de máquinas, magna y nuevamente el exterior.

En este caso concreto, el equipo DX4030 basado en tecnología FTIR no estaba operativo, ni se ha considerado necesario para el caso de la analítica que concierne a este caso particular, por eso se ha utilizado el Q-Trak que nos permite hacer una valoración completa de la calidad de aire en el interior (IAQ) y el PPB que da una visión global de la contaminación de los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) totalizados.



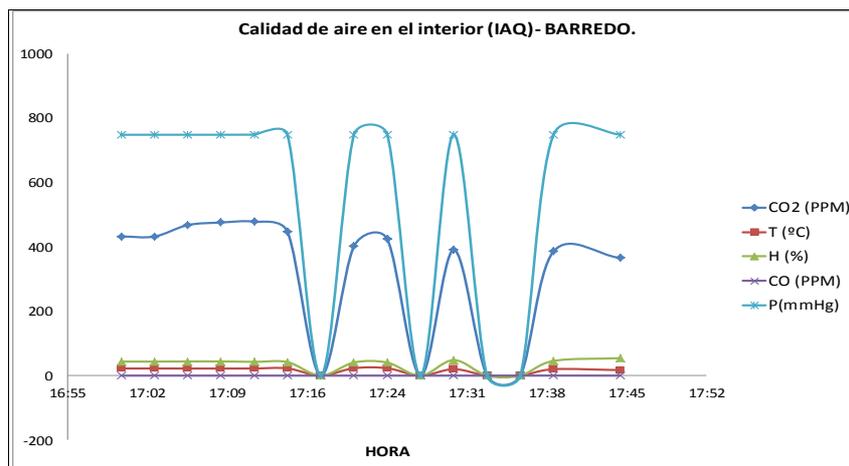
**Figura 27.** Datos vespertinos de temperatura interior y exterior. C-Arfrisol, Asturias

La (Figura 27), muestra una gráfica modelo de la situación ideal para BARREDO, sólo se necesita un aporte de alrededor de cinco grados centígrados para llegar a los niveles de confort frente a la temperatura exterior. Tal y como se observa, en el caso del interior llega una temperatura estable y uniforme durante todo el recorrido, como es lógico ya que existe la capacidad de programar la temperatura deseada como se ha señalado en la parte de descripción del edificio, y cada usuario suele tener las mismas demandas de confort. El exterior es igualmente uniforme, no es algo que se pueda modificar, pero si es algo que se ha considerado antes de la construcción para poder hacer un sistema de ventilación acorde con las posibles demandas y como se muestra en la representación, funciona perfectamente en las dos plantas sujetas de estudio en este día.



**Figura 28.** Datos vespertinos de humedad interior y exterior. C-Arfrisol, Asturias

Por el contrario, en el caso de la humedad (Figura 28), aunque es algo que el usuario no puede definir porque el sistema de ventilación no contempla la posibilidad de incrementar o disminuir el efecto, sí se observa como el aporte de aire al interior, es más seco que el del exterior, parece evidente que es debido al proceso de tratamiento de aire para aclimatar la edificación, también es resaltable la uniformidad en ambos casos, ya que como se ha dicho anteriormente es el día “tipo” de la zona, en base a este, se ha seleccionado el sistema de climatización y como se observa cumple perfectamente con las demandas planteadas.



**Figura 29.** Datos vespertinos de calidad del aire interior. C-Arfrisol, Asturias

Esta representación (Figura 29) viene realizada con el equipo apropiado para IAQ, el Q-Trak, como está descrito en su ficha, este equipo funciona con baterías y en la medida que se le agotan éstas el instrumento puede dejar de analizar, pero los resultados que registra son fiables y acordes con la realidad. Dicho esto, podemos observar como tres ocasiones en las que ha dejado de registrar datos y en la última durante un período un poco más largo que en la anterior. No obstante, este hecho no afecta a las medidas tomadas, ya que el recorrido se ha hecho conscientemente contando con este efecto y hasta no tener una medida válida por ubicación no se ha continuado el recorrido.

Otra observación que se realiza, una vez más, en este día, es la gran uniformidad de todos los contaminantes en toda la edificación, es un hecho achacable a la climatizadora en funcionamiento, que como se ha indicado ya, en líneas generales, el aire que distribuye es el mismo para todas las zonas de la misma planta, tomándolo en este caso del exterior.

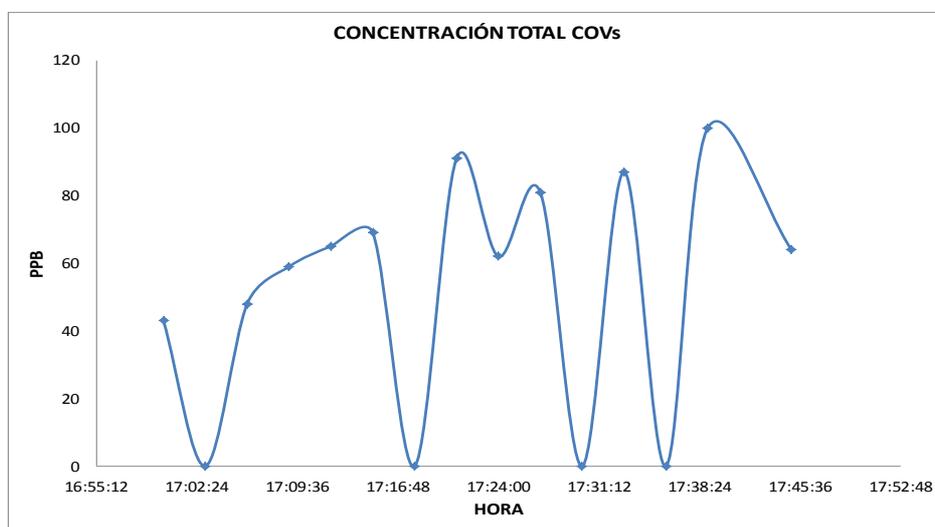
Respecto a la concentración de contaminación detectada, no hay mucho que resaltar, el hecho de que este sistema esté funcionando correctamente hace que el aire que se respira dentro sea el mismo que fuera, una vez tratado ligeramente para el calentamiento y su consiguiente pérdida de humedad.

Se podría esperar un notable descenso en el CO<sub>2</sub> encontrado en el interior frente al exterior, al menos en los puntos de salida de las UTAs que lleven filtros específicos para este contaminante, pero hasta el momento, como se observa en la gráfica, no hay diferenciación notable en ningún punto.

Al ser el equipo principal para la toma de muestras el Q-Trak, cuando éste se ha pausado por falta de batería, se ha utilizado la funda proyectora del PPB para no adquirir datos que no sean parejos al primero, al haber sido una medida tomada in situ para perfeccionar la tabla de resultados, se observa que

en algún caso el bloqueo de entrada de aire del PPB llega con unos segundos de retraso sobre los datos que registra el Q-Trak.

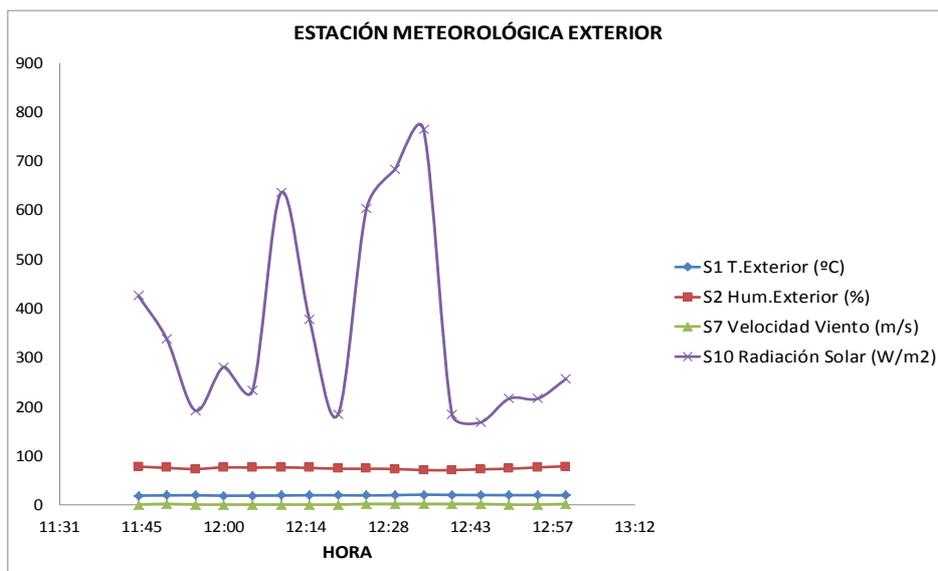
En el caso de la analítica registrada durante el recorrido realizado, se observa un ligero descenso en la zona de despachos de los COVs totalizados (Figura 30), pero que es acorde a los dos puntos de toma de muestras en el exterior. De esta observación se podría concluir, que las zonas que utilizan sistemas de climatización, mantienen el mismo aire que con el exterior y sin embargo en las zonas donde no llega esa climatización directa el aire puede estar más “viciado” como se dice coloquialmente, debido al estancamiento producido por estar las puertas de los despachos cerradas; no obstante, esta es una observación realizada en unos niveles de contaminación casi nulos, en escala de ppb.



**Figura 30.** Datos vespertinos de concentración total de COVs. C-Arfrisol, Asturias

### BARREDO 22/05/2012. MAÑANA.

En este día de mayo, la mañana ha sido muy estable en lo que al tiempo se refiere, es un día fresco y húmedo, consecuentemente la sensación térmica baja bastante. Al ser un día nuboso con intervalos de claros, la radiación durante estos períodos es bastante fuerte, pero apenas se nota el viento excepto en pequeñas rachas de viento moderado (Figura 31).



**Figura 31.** Datos matutinos estación meteorológica exterior. C-Arfrisol, Asturias

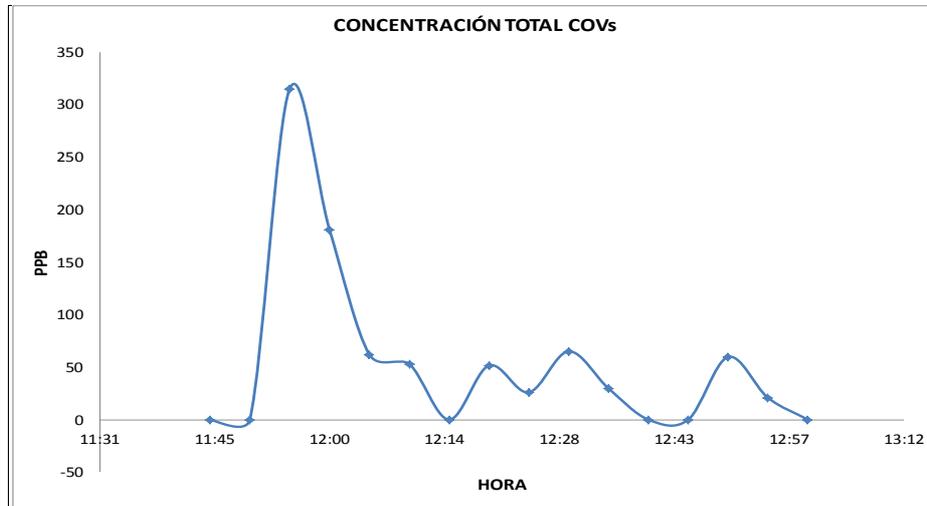
## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

El recorrido que se ha realizado en esta mañana, ha sido el que se ha considerado como óptimo para las mañanas, ya que se comienza por la zona de despachos en la planta primera (despachos) donde se han dejado los equipos estabilizar y calibrar para el momento durante un largo periodo de tiempo, se ha analizado esta planta hasta llegar a la terraza exterior, pasando por la sala de reuniones y sin subir a la segunda planta, se desciende para muestrear en la planta baja, haciendo el recorrido inverso al habitual, hall, magna, cafetería y exterior, dejando los equipos en reposo sobre el poyete de la entrada. Con este sistema, se llega a realizar el recorrido en un tiempo inferior a una hora, con dos muestreos en el exterior, analizando todos los despachos, salas de reuniones y zonas donde se ha ido observando variaciones sustanciales en lo que a IAQ se refiere.

Al ser un día de sensación térmica ligeramente baja, como se ha comentado, es la ocasión ideal para realizar el muestreo de las zonas donde se ha arrancado la climatizadora, pero en este caso para calefactar, ergo las puertas de los despachos han permanecido cerradas y la edificación se encuentra a unos niveles de ocupación máxima.

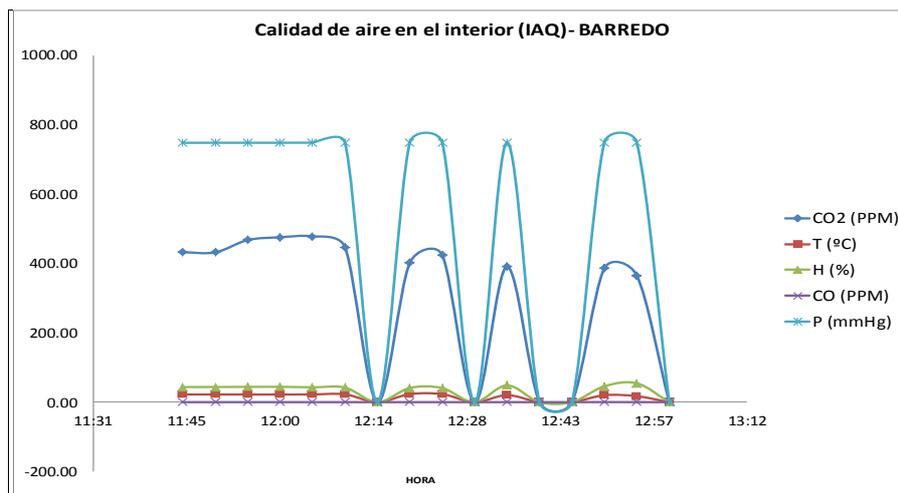
Los equipos seleccionados para esta mañana, han sido pensados para poder realizar una valoración global de la contaminación en el interior con los detalles interiores comentados anteriormente, para poder testear la influencia de la calefacción en la calidad de aire interior. Por este motivo se ha utilizado el equipo que da una cifra totalizada de VOCs y se han incluido un contador de partículas y un formaldehidrómetro específico debido al revestimiento de

madera del hall. Como es lógico pensar, todos estos datos se contrastan con los obtenidos de la garita meteorológica exterior y el equipo específico de IAQ.



**Figura 32.** Datos matutinos de concentración total de COVs. C-Arfrisol, Asturias

Como se observa en la gráfica (Figura 32), enlazando con la situación de la ocupación máxima en la zona de despachos, primera zona muestreada, se observa ese importante aporte de contaminantes de los ocupantes, luego se reflejan tres claros descensos a un valor nulo, que corresponden con los puntos de medida del exterior y la bajada a la segunda planta por el hall de entrada. La planta baja también mantiene esa uniformidad en todo el recorrido y estancias de igual ocupación, pero muy superior en espacio volumétrico.

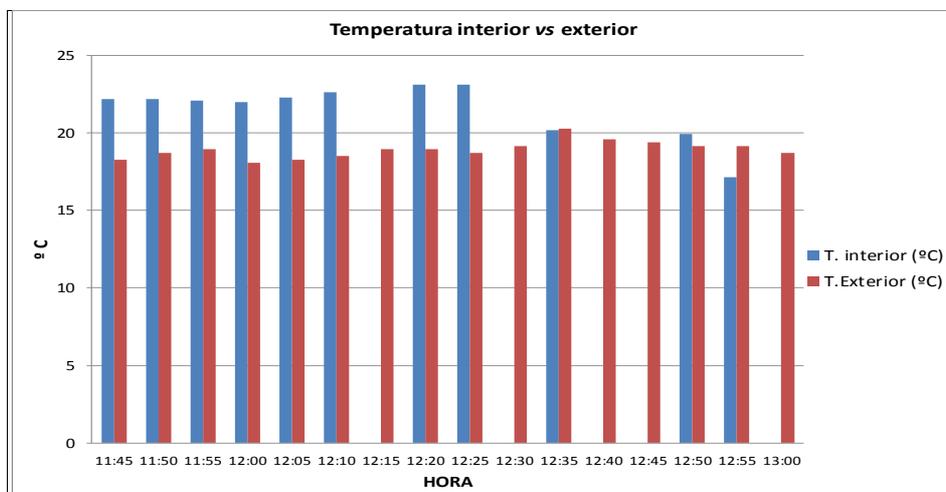


**Figura 33.** Datos matutinos de calidad del aire interior. C-Arfrisol, Asturias

Como se ha comentado en otras ocasiones, este es un equipo portátil de IAQ que funciona con pilas convencionales, siendo sus necesidades energéticas muy elevadas; el fabricante ha considerado haciendo unos ajustes finos en la

validación de los resultados, que si no cumple ciertos requisitos, no almacena el valor, quedando en la representación gráfica (Figura 33) a cero, para que no induzca a dudas o razonamientos erróneos.

En lo que procede destacar de estos resultados (Figura 33), se centra en dos puntos fundamentales, una la gran estabilidad que se mantiene en toda la edificación muestreada durante todo el proceso y que en el caso de la humedad, al ser utilizada la climatización para calentar, ésta ha descendido bastante, aunque quizás como valor absoluto se considere dentro del confort, pero comparando con la del exterior, hay un descenso muy importante que se debe de tener en cuenta.



**Figura 34.** Datos matutinos de temperatura interior y exterior. C-Arrisol, Asturias

Tal y como se representa en la gráfica (Figura 34) la temperatura exterior es muy uniforme, pero a diferencia de la interior, se nota un salto térmico en función de la planta, como ya se ha dicho en la zona de despachos hay una ocupación máxima, las puertas están cerradas y la calefacción funcionando, en la planta baja que no está calefactada y tiene los techos muy altos, se observa que es la misma temperatura que en el exterior incluso en un caso llega a ser inferior por no recibir radiación solar.

El mismo efecto observado en la temperatura (Figura 34) se observa con la humedad (Figura 35) y por los mismos motivos, pero en este caso el efecto es el contrario, al tener la calefacción funcionando, se puede deducir que ese descenso de humedad se debe a este efecto; sin embargo en la planta baja la recuperación de la humedad es notable, pero dista mucho de llegar a ser similar que en el exterior. De este hecho se puede deducir que la influencia de la climatización es para todo el interior de la edificación, aunque sólo afecte la calefacción en las zonas que esté directamente renovando el aire, sin embargo la deshidratación sí afecta al interior completo.

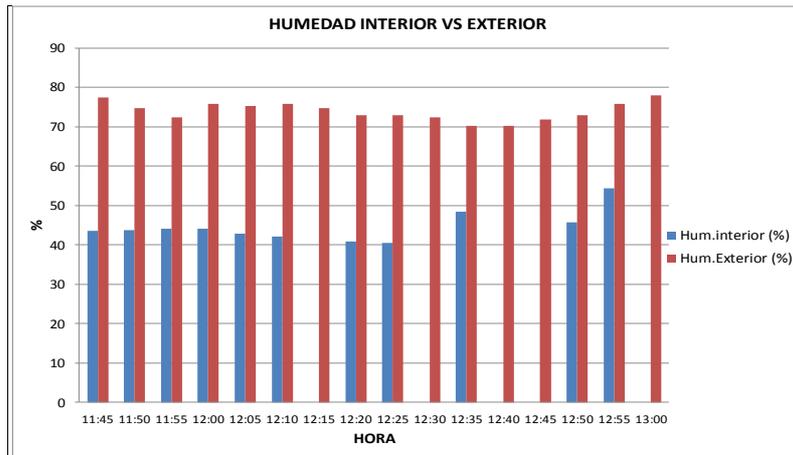


Figura 35. Datos matutinos de humedad interior y exterior. C-Arrisol, Asturias

**BARREDO 22/05/2012. TARDE**

En esta jornada de tarde (Figura 36), el clima no ha variado mucho respecto a la mañana (Figura 31), sí es cierto que hasta las cuatro de la tarde la radiación solar ha sido más fuerte, pero se ha combinado con una brisa casi constante, que hace que aunque la temperatura sea ligeramente superior la sensación térmica siga siendo lo suficientemente fresca como para no haber apagado la calefacción en los despachos, que para no perder cargas térmicas se han seguido manteniendo cerrados.

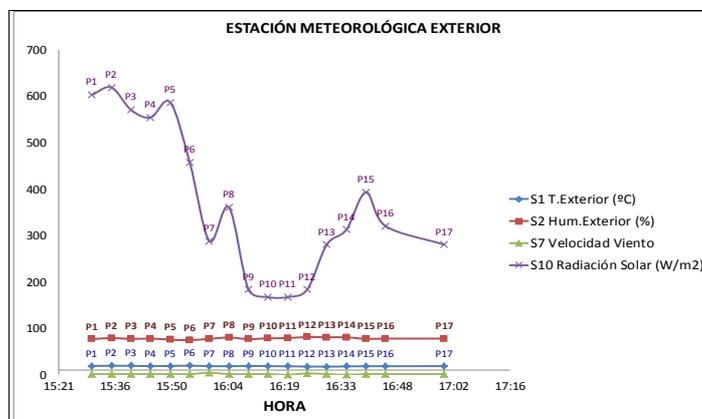


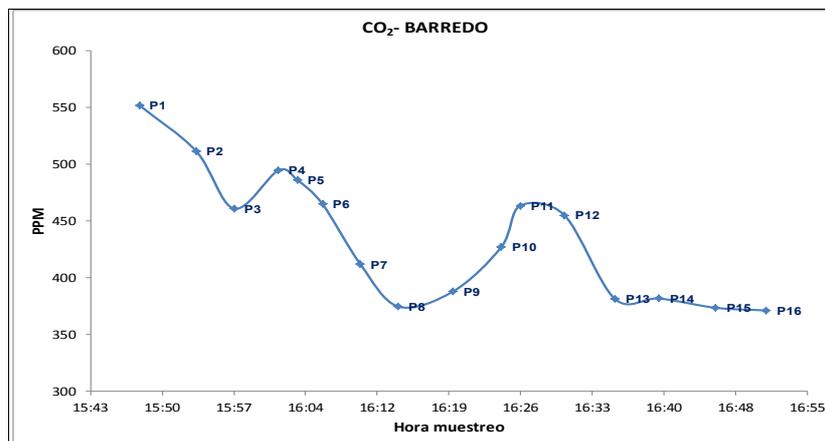
Figura 36. Datos vespertinos estación meteorológica exterior. C-Arrisol, Asturias

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

En este caso, el recorrido que se ha realizado ha sido exactamente el mismo que en la mañana, solo que se ha aumentado en la parte final; cuando en la mañana se ha finalizado con la toma de muestras en el exterior, en este caso se ha vuelto a la edificación para continuar muestreando en la planta segunda, accediendo a ella desde el ascensor para finalizar ahí.

Aunque con esta ampliación de recorrido se supera el tiempo recomendado de muestreo de una hora, hecho que se ha considerado como excesivo como tónica habitual, en esta ocasión es necesario ya que de los resultados obtenidos en la mañana han sido muy singulares, posiblemente por tener la calefacción encendida, se debe contrastar experimentalmente si el efecto de la pérdida de humedad o cargas térmicas se aplica a toda la edificación y no hacer una extrapolación teórica, sino una comprobación pragmática.

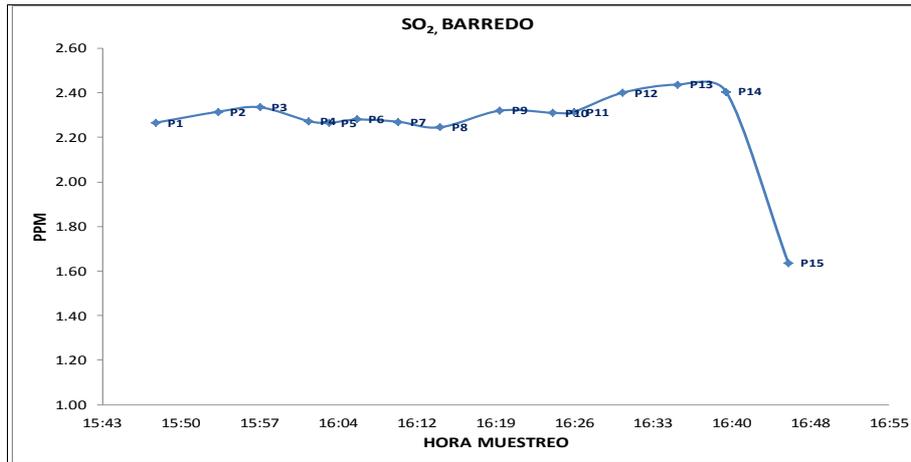
Así mismo, para completar la analítica de la edificación se han utilizado todos los equipos que estaban a disposición en el laboratorio, realizando las calibraciones y ajustes oportunos, incluyendo en esta ocasión el DX4030 como equipo de referencia de este estudio y se ha ampliado en esta toma de muestras con un formaldehidometro, ya que es el mejor escenario para su utilización considerando el hall de la entrada y su revestimiento en madera.



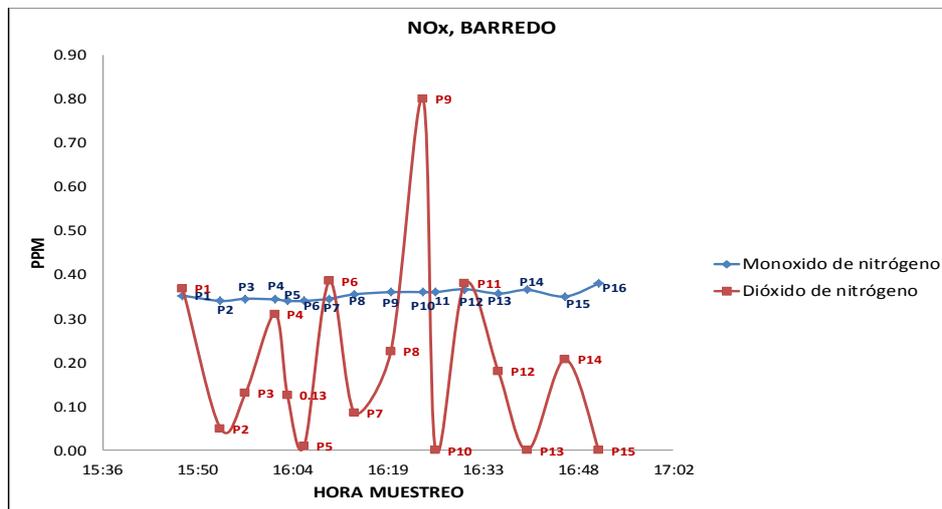
**Figura 37.** Medición vespertina de CO<sub>2</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias

Esta representación gráfica (Figura 37), sería la esperada en una simulación teórica con las condiciones que ya se han comentado. Se observan dos picos inferiores que corresponden con las medidas en el exterior y en el segundo caso se prolonga hasta la planta segunda, lugar diáfano y desocupado en estos momentos. Así mismo en las zonas de despachos ocupadas y cerradas, se refleja claramente el aporte de cada usuario.

Con el SO<sub>2</sub> (Figura 38), ocurre un hecho curioso, ya se ha observado en otras ocasiones que este contaminante puede no guardar consonancia con lo esperado, ya que tiene distintos precursores; lo que ocurre es que se ha mantenido estable a lo largo de todo el recorrido en unos niveles bajos pero claramente detectables, sin embargo en la planta segunda, que lleva desocupada y cerrada un tiempo, sin aportes ni del exterior ni del interior, hay un gran descenso para los valores con los que se está trabajando.



**Figura 38.** Medición vespertina de SO<sub>2</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias



**Figura 39.** Medición vespertina de NOx de C-Arfrisol, Barredo. Asturias

La diferenciación de ambos contaminantes (Figura 39), teniendo en cuenta que el NO se mantiene estable a lo largo de todo el recorrido en unos niveles bajos, hace pensar que los resultados encontrados del dióxido de nitrógeno son

válidos, ya que no existe una compensación de contaminación sobre los resultados obtenidos.

La obtención de una gráfica (Figura 39) cargada de picos, no corresponde con la realidad que a priori se puede entender de la lectura de la gráfica, si se observa el fondo de escala, estamos dentro de la zona de “ruido” del equipo, con lo que lo que en realidad se observa, excepto en la cafetería que si sube casi a una ppm, es la presencia o no de este contaminante a lo largo de todo el recorrido.

Con el metano (Figura 40), se observa el hecho que en unas ocasiones, con la climatizadora apagada la influencia humana supone un aporte, sin embargo aquí

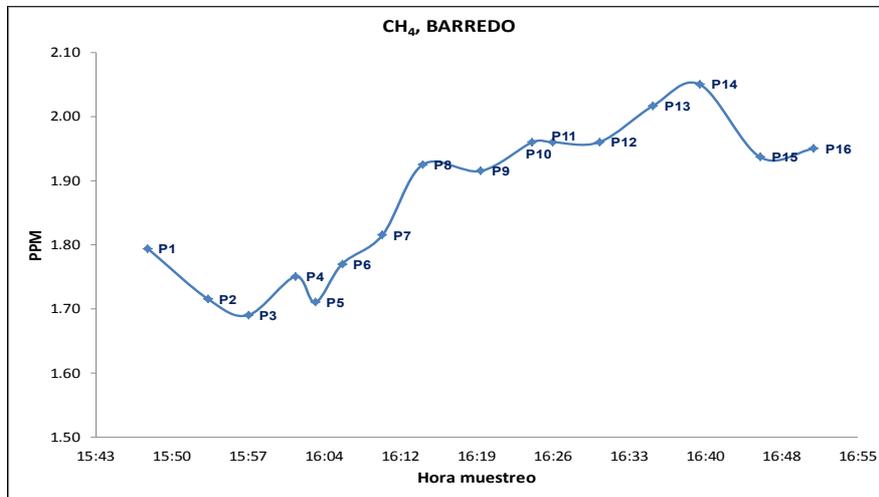


Figura 40. Medición vespertina de CH<sub>4</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias.

se demuestra cómo no afecta ni la presencia de los usuarios, ni la ocupación (no difiere de exterior a interior), siempre y cuando esté encendida la calefacción.

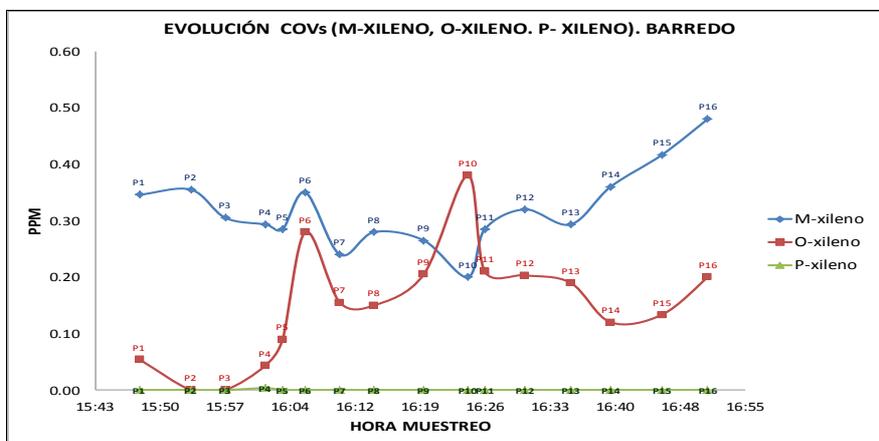


Figura 41. Medición vespertina de contaminantes del tipo xilenos. C-Arfrisol, Barredo. Asturias

Una vez más con los Xilenos (Figura 41), volvemos a realizar la observación en la que se ve claramente la diferenciación de cada uno de forma independiente y que no se transforman o confunden en las lecturas del equipo, tan sólo existiría esa duda en el la cafetería (p-10), ya que la tendencia de los que hay presencia lleva la misma tendencia.

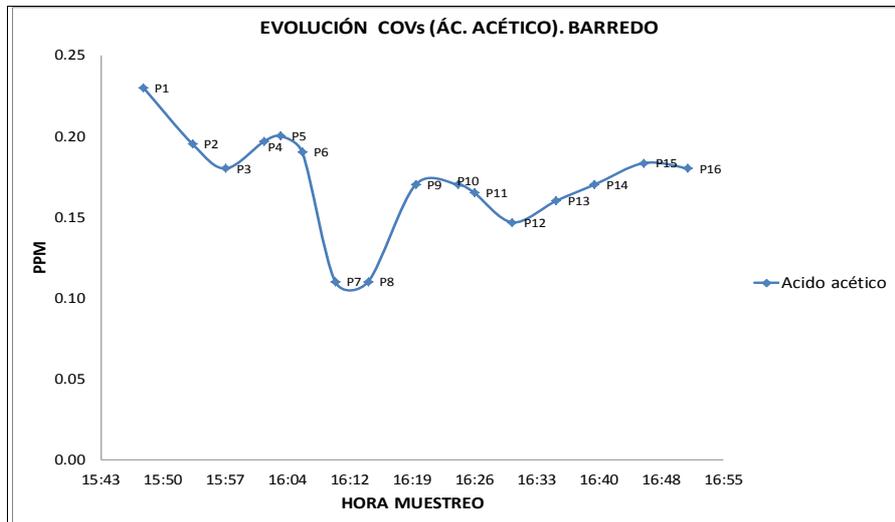


Figura 42. Medición vespertina de ácido acético. C-Arrisol, Barredo. Asturias

El ácido acético en una concentración de menos de un cuarto de ppm es decir que se observa posibilidad de presencia, ya que se encuentra el nivel de la concentración dentro de la zona de ruido del espectro, pero al estar tan bien definida la gráfica se puede asegurar dicha presencia. Lo destacable en esta representación (Figura 42), es que una vez más se observa como los mínimos encontrados corresponden en ambos casos a los puntos de medida del exterior.

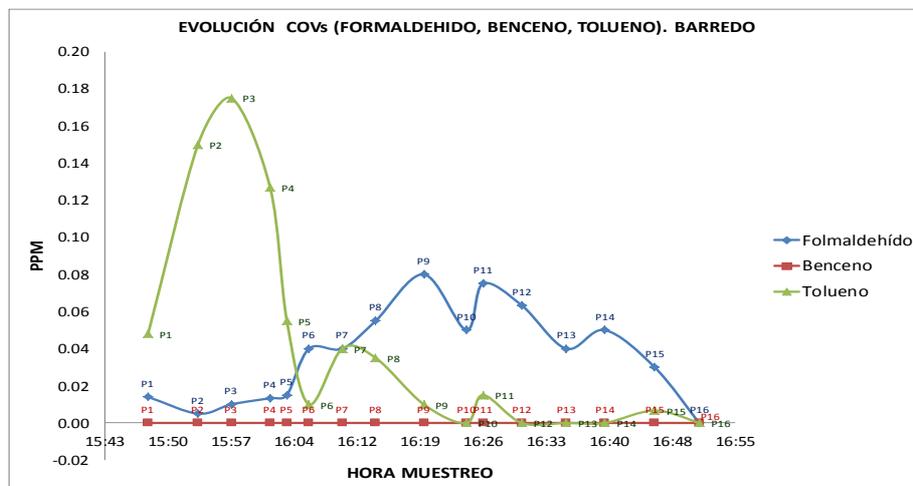
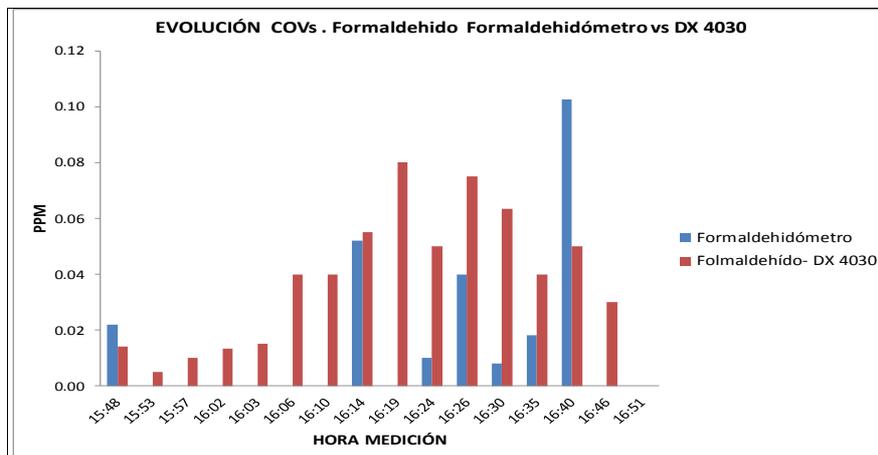


Figura 43. Medición vespertina de formaldehído, benceno y tolueno. C-Arrisol, Barredo. Asturias.

Esta representación (Figura 43) cercana al límite de detección del equipo, se observa para tranquilidad de los usuarios que sigue sin encontrarse presencia de Benceno, el tolueno hay una ligera presencia en la zona de despachos y del formaldehído, como no, en la zona del revestimiento de madera del hall de entrada y las zonas colindantes, se ven afectadas.



**Figura 44.** Evolución formaldehído. Formaldehidómetro vs. DX4030. C-Arfrisol, Barredo. Asturias

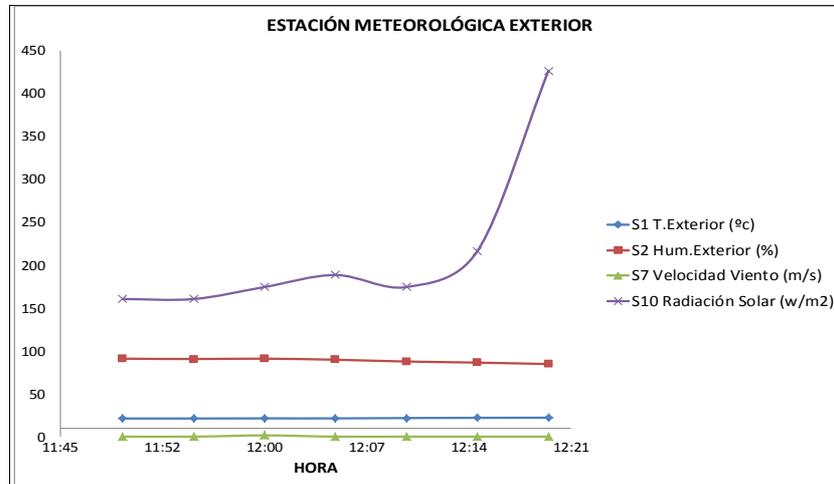
Con la intención de seguir creciendo a nivel de laboratorio y su equipamiento, se ha conseguido poder contar con un pequeño equipo específico de detección de formaldehído, de esta forma se puede contrastar los resultados con diferentes tecnologías para el mismo contaminante (Figura 44). A pesar de que en unos niveles de concentración casi nulos durante toda la toma de muestras, fijándonos en los puntos que se observa presencia, se ve como la tecnología FTIR es más sensible a la detección de presencia, pero sin embargo el analizador específico es más fiable a niveles de cuantificación.

**BARREDO 19/08/2009. MAÑANA**

Según se observa en la gráfica (Figura 45) esta es una mañana, que aun a medio día sigue el día nublado, sin viento y con elevada humedad, sería el día clásico del entorno Asturiano en el que se encuentra esta edificación, un día fresco y nublado.

En estas fechas el equipo DX4030 se encuentra en fase de pruebas y experimentación, de momento no se pueden contrastar los resultados obtenidos con los de otra experimentación simultáneamente, en estos momentos las medidas realizadas se contrastan con los históricos que se tienen para esperar resultados similares y observar si este sistema novedoso

de medida aplicado a este campo sería válido y reproducible para continuar con la experimentación.



**Figura 45.** Datos matutinos estación meteorológica exterior. C-Arfrisol, Asturias. (19/08/2009)

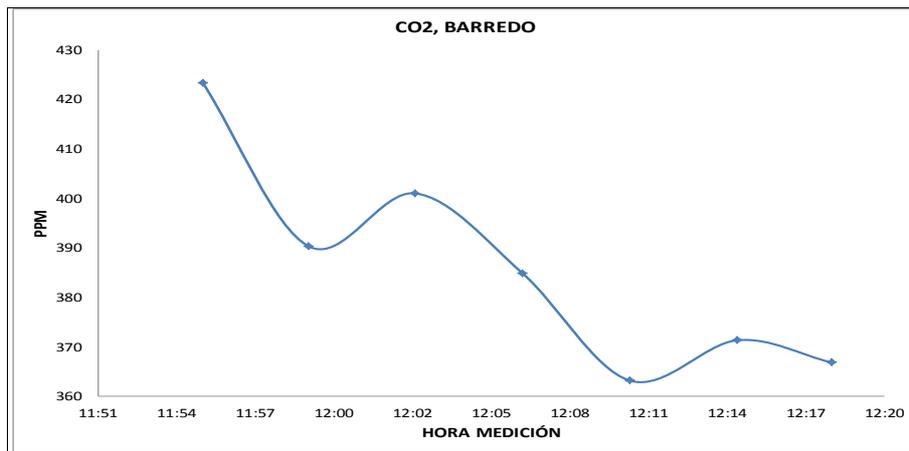
Para garantizar el buen funcionamiento del equipo se ha dejado en reposo en la ubicación donde se realizará el muestreo durante 16 horas, se ha dejado funcionando con el arranque encendido durante otros 30 minutos, se ha limpiado la cámara con Nitrógeno en corriente libre durante otros tres minutos; se han realizado dos ensayos de blanco que en ambos casos el resultado es el esperado según las especificaciones del fabricante. Debemos tomar nota que en estas medidas la configuración del muestreo está cada 35 segundos, siendo este programable dentro de unas cotas que el desarrollador del programa que gobierna el equipo le permite.

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

La ruta que se ha seguido en este caso ha sido atípica, ya que se ha comenzado la medida donde se había dejado reposar al equipo, es decir se comienza por la planta primera de despachos analizando despachos y pasillos, magna (vacía y recién utilizada sin ventilar y limpiada, a medio día exactamente) para continuar por los baños, subir a la segunda planta y finalmente acabar en la planta baja (diez minutos más tarde) muestreando en cafetería, hall, aulas y finalmente en el exterior.

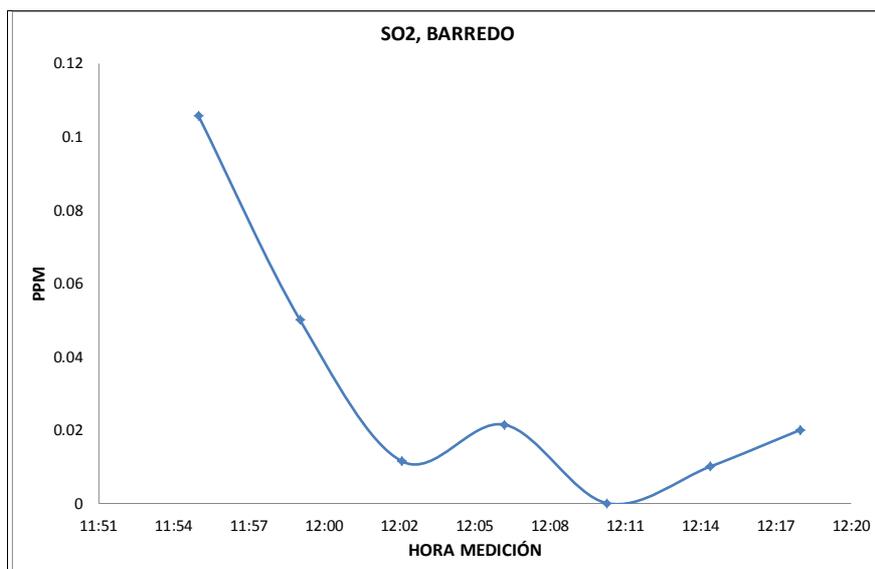
En la gráfica siguiente (Figura 46), se puede observar perfectamente el aporte de CO<sub>2</sub> al aire de los usuarios en la ocupación del edificio, en las zonas que están ocupadas o han sido recientemente ocupadas.

En los primeros despachos, zona de máxima ocupación, dado que es la ocupación habitual, sumándole las personas que estamos probando el equipo en un despacho cerrado, se observa el pico máximo, luego desciende hasta el paso



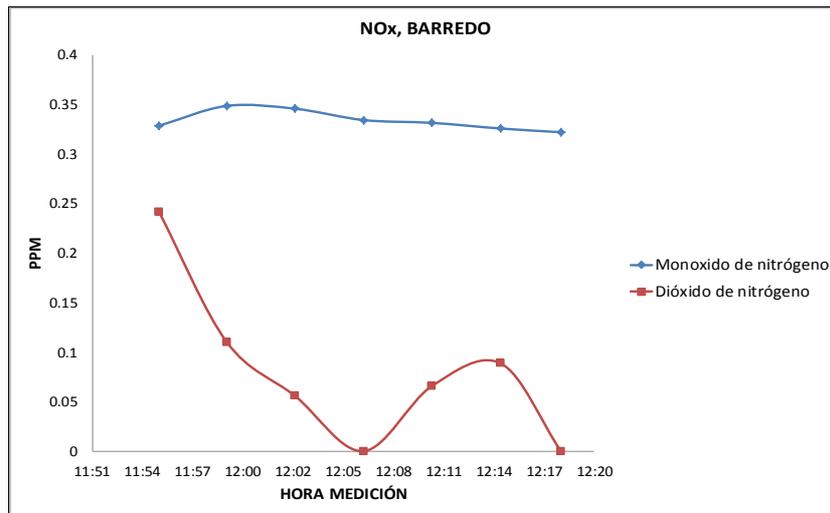
**Figura 46.** Medición matutina de CO<sub>2</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

por la sala de reuniones, sin ocupación en ese momento, pero habiendo sido utilizada hasta ese momento. Finalmente se observa un ligero ascenso al paso por el hall principal, lugar de paso obligado y acabamos con el exterior encontrando la contaminación base de la zona.



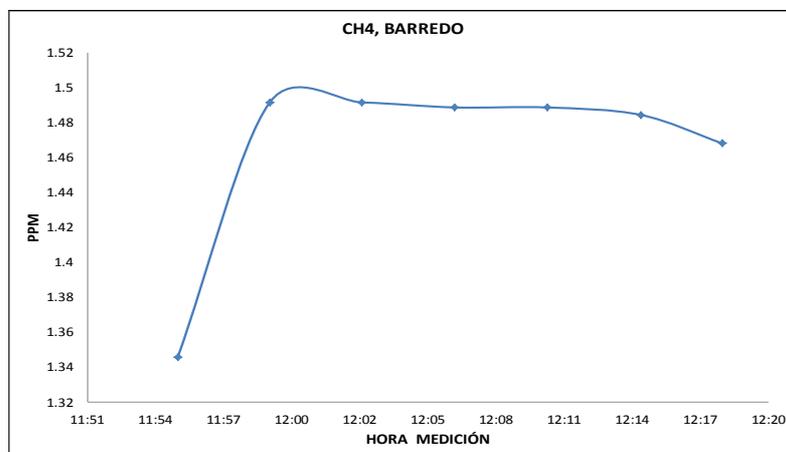
**Figura 47.** Medición matutina de SO<sub>2</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

La observación de este precursor de contaminante, no sería reseñable en el muestreo realizado por la baja concentración del mismo, pero debemos destacar dos observaciones, el equipo ha sido capaz de resolver a una concentración casi nula e identificarlo sin mayor problema aparente y la evolución temporal de esta gráfica (Figura 47) es acorde con lo que se pueda esperar a priori, ya que sería de suponer que venga del exterior esta contaminación, siendo las zonas ventiladas y el propio exterior las que revelan presencia de éste.



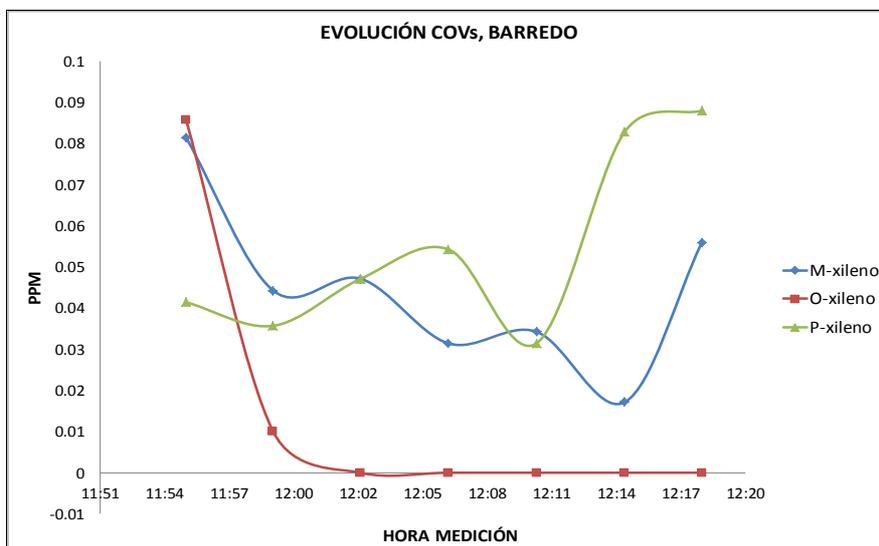
**Figura 48.** Medición matutina de NO<sub>x</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

En el caso de este otro precursor (Figura 48), podemos obtener el mismo razonamiento que en caso de SO<sub>2</sub> (Figura 47), ya que las zonas afectadas son las mismas, lo que puede inducir a deducir que el equipo guarda coherencia con los resultados que se obtienen y así mismo, los niveles de concentración son tan bajos, que hasta lo estudiado en ese momento no existen equipos capaces de detectar un nivel tan bajo de contaminación.



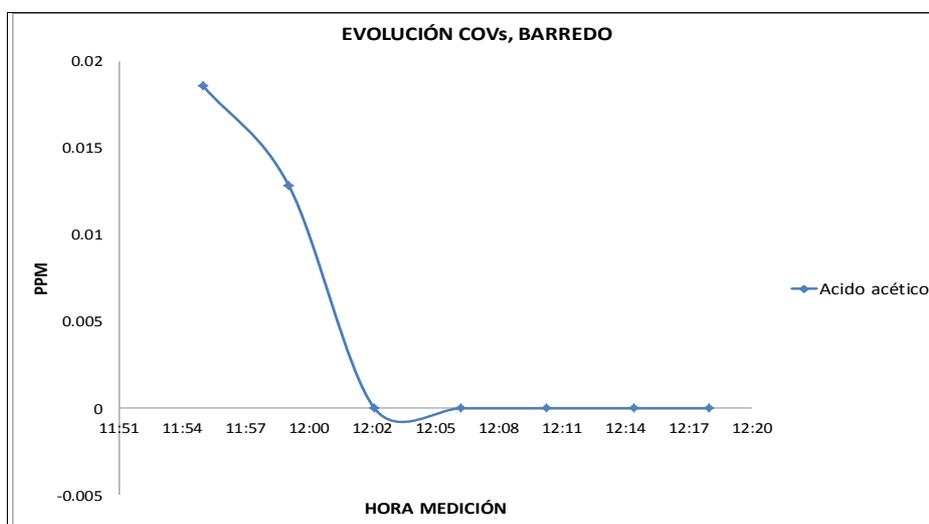
**Figura 49.** Medición matutina de CH<sub>4</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

El valor registrado de CH<sub>4</sub> es, como en otros casos, una medida que según el fabricante queda por debajo de los límites de detección del equipo; pero después de haber realizado un ajuste tan fino, la resolución de gráfica (Figura 49), parece limpia y clara, entendiendo que el registro realizado sea el válido.



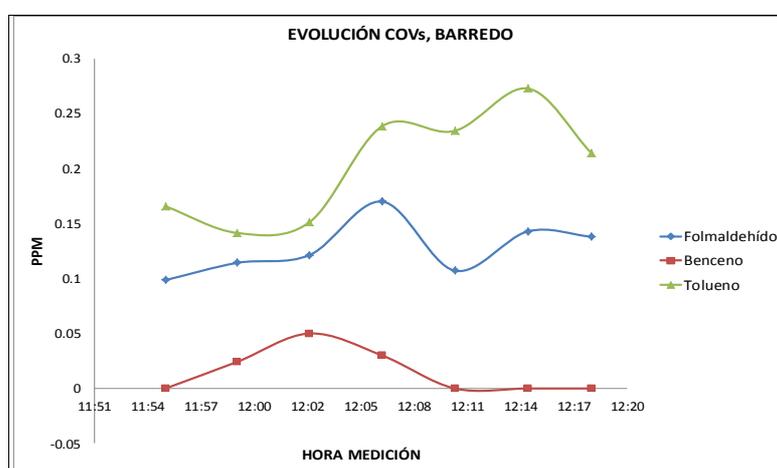
**Figura 50.** Medición matutina de xilenos de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

Es de esperar que no se obtenga presencia de Xilenos en una edificación bioclimática, sería de esperar en otras ubicaciones con mayor presencia de productos químicos, fábricas o industrias. No obstante, aunque siempre por debajo de 1 ppm se revela la presencia de este contaminante en sus tres formas, aunque destacable también que no guardan un equilibrio (Figura 50), ya que su concentración es independiente de las otras dos formas de dicho contaminante.



**Figura 51.** Medición matutina de ácido acético de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

La representación de la contaminación de acético en una edificación bioclimática dedicada sólo a oficinas, no tiene mucho sentido si no fuera para este estudio en el que se contrastarán los resultados obtenidos con otras, ya que sólo se esperaría obtener valor de algún derivado del material del mobiliario. En ningún caso un resultado negativo es aceptable, pero como se ha comentado en anteriores gráficas el equipo resuelve con eficacia valores de hasta 5 ppm y hasta 1 ppm depende de la medida de cada día, en función de su limpieza y estabilidad de la ubicación del propio equipo; en esta representación (Figura 51), encontramos que los valores obtenidos están por debajo de 0,02 ppm, dentro del rango denominado como ruido de la señal, pero fiable si lo contrastamos con el recorrido realizado donde en la zona de despachos con mobiliario nuevo, con una ligera presencia y nula en el resto del recorrido fuera de oficinas.



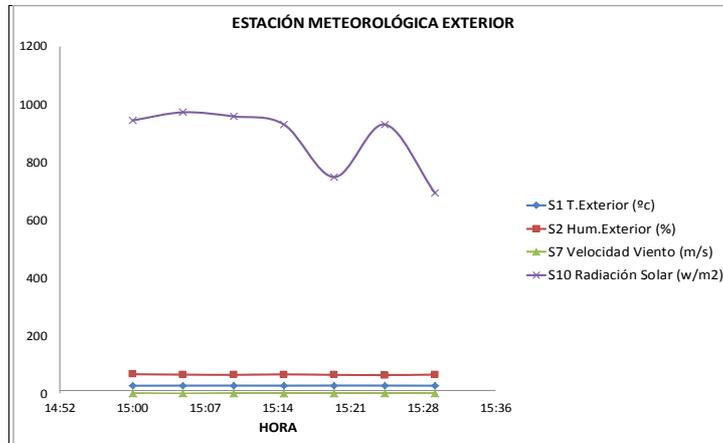
**Figura 52.** Medición matutina de formaldehído, benceno y tolueno de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

Sería destacable señalar a partir de esta representación que otros derivados del material de oficina y equipos dan un aporte positivo de contaminantes normalmente encontrados en maderas y barnices. En este momento habría que destacar que el hall principal lleva un revestimiento en su interior de madera, aunque se ha elegido muy bien el tipo de revestimiento como material bioclimático, parece que se ha detectado contaminación, será contrastable con otros análisis de resultados análogos en la misma ubicación.

### BARREDO 19/08/2009 TARDE

En el momento que se tomaron las muestras de este mismo día pero por la tarde, la temperatura ya había subido considerablemente debido a la fuerte

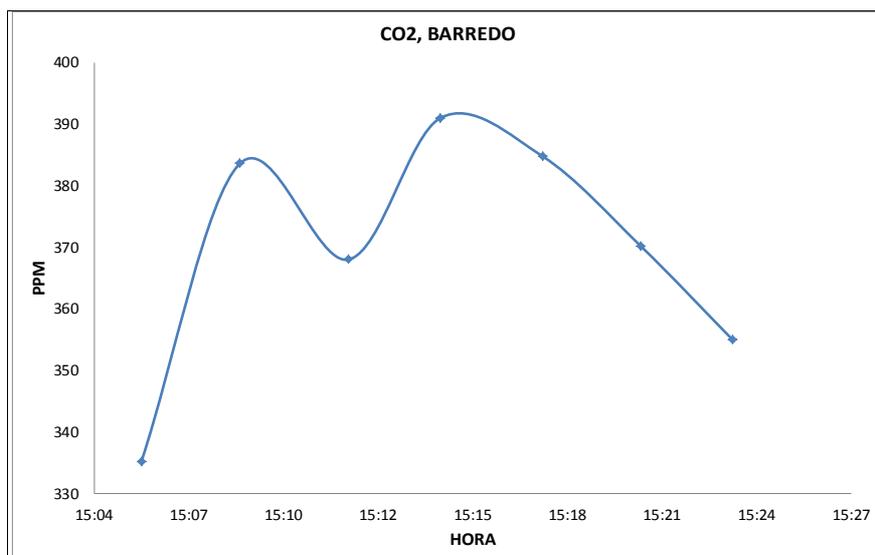
radiación solar, consecuentemente hay una bajada de la humedad y también se observa que hay viento de forma continuada y estable (Figura 53).



**Figura 53.** Datos vespertinos estación meteorológica exterior. C-Arfrisol, Asturias. (19/08/2009)

#### EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

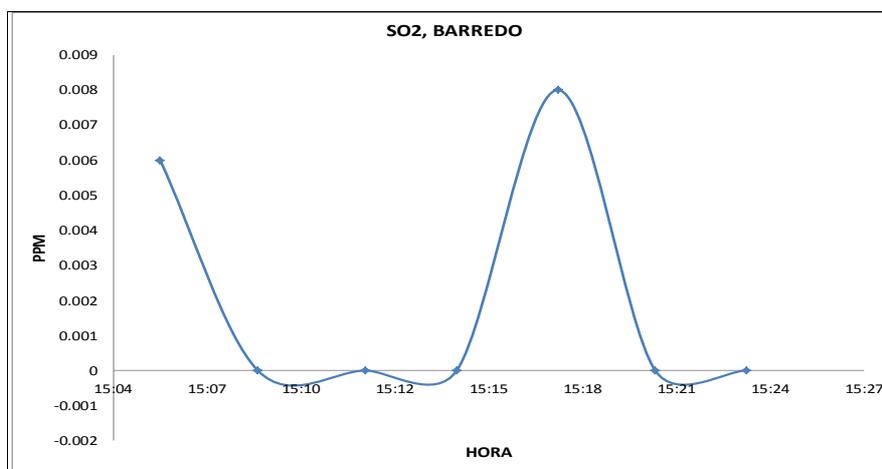
Teniendo ya el equipo calibrado y en perfecto estado de medida debido al trabajo realizado el mismo día por la mañana, ya se puede empezar el recorrido habitual de muestreo, empezando en la calle, entrando por el acceso principal, recorriendo las aulas hasta llegar al hall, cafetería y ascensor para continuar las medidas en la primera planta, que se realiza desde la sala de reuniones, acabando por los despachos y finalmente se sube a la planta segunda por la escalera donde finaliza el muestreo, tomando consideración de que esta estancia en estos momentos se encuentra vacía y ventilada.



**Figura 54.** Medición vespertina de CO<sub>2</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

En esta representación (Figura 54) se observa como la contaminación de la zona ya está en unos niveles ligeramente elevados para lo que se podría esperar del enclave, pero como ya se ha descrito la zona tiene industria y se puede entender que hay una contaminación de CO<sub>2</sub> residual de la zona.

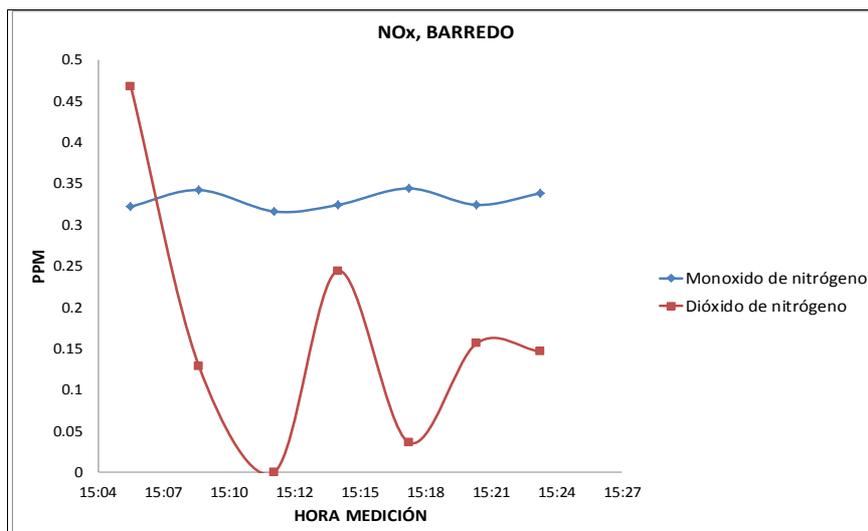
Dentro de la edificación la observación directa demuestra una vez más como en las zonas de despachos y aularios la ocupación ha sido mayor, de ahí que se observen en dichas zonas las dos jorobas redondeadas del gráfico, con una tendencia de bajada pronunciada al acercarnos a la planta superior donde no ha habido ocupación en este día y la ventilación es la máxima posible.



**Figura 55.** Medición vespertina de SO<sub>2</sub> de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

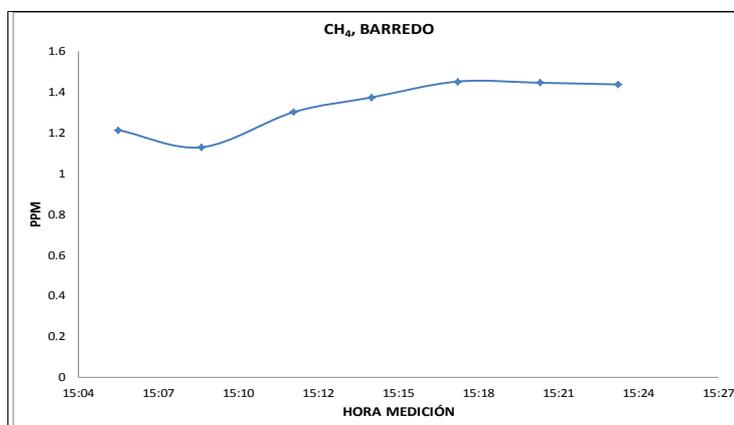
En este caso la representación de la contaminación encontrada de SO<sub>2</sub>(Figura 55), se considera nula, este gráfico lo que permite aportar, es que aun estando en la parte que se considera como ruido del equipo, si ampliamos el gráfico a un fondo de escala de 0 a 0.01 ppm la gráfica que se representa parece guardar coherencia con el recorrido realizado, siendo los exteriores de la edificación donde se podría encontrar algo de este precursor, haciendo siempre la salvedad que los datos negativos corresponden a la línea base de la gráfica como se podría observar en el fondo de escala o en los resultados obtenidos.

A tenor de lo observado en la gráfica (Figura 56), cabría destacar una vez más que la edificación parece un lugar más saludable que el propio entorno, aun considerando el entorno de vegetación extrema a priori nos pueda dar la idea de puro y limpio. En cualquier caso la concentración es tan baja que no sería detectable a la sensibilidad de otros equipos convencionales.



**Figura 56.** Medición vespertina de NO<sub>x</sub> de C-Arrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

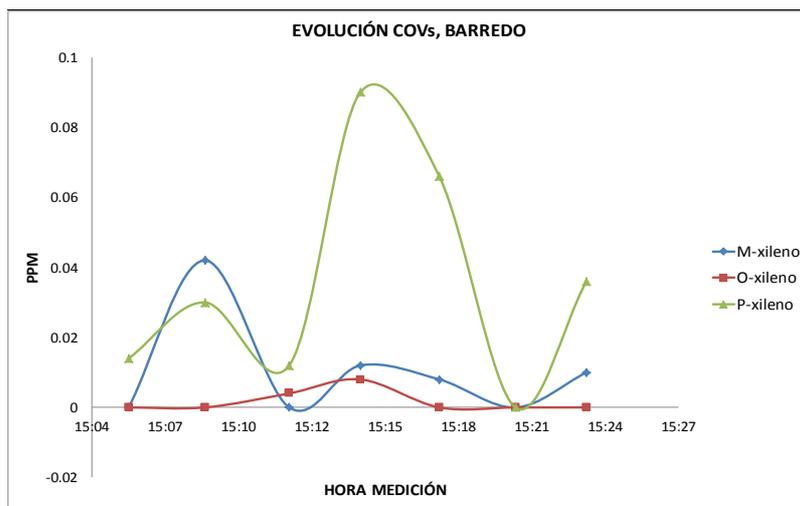
También se observa que mientras el NO no tiene una respuesta diferente dentro del Contenedor, el NO<sub>2</sub> sí parece que en las zonas que están climatizadas y cerradas se observa un notable descenso a la línea base, así como un incremento al acercarse a las zonas que están siendo ventiladas libremente (Figura 56).



**Figura 57.** Medición vespertina de CH<sub>4</sub> de C-Arrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

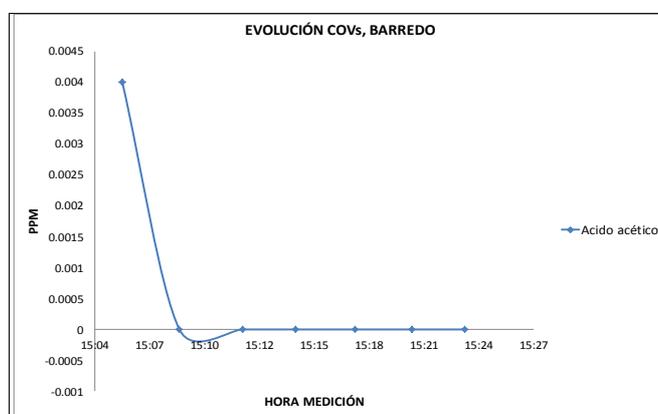
La observación del metano (Figura 57) como precursor, en estos casos nos ha aportado la misma información, hay una ligera contaminación ambiental residual ligada al entorno y dentro de la edificación al no tener ocupación en este periodo de tiempo sólo se observa la misma que hubiera en el periodo de la mañana.

Tal y como representa la figura 58, los Xilenos no suponen una contaminación, pero sí que refleja este gráfico (Figura 58), cómo incluso en zonas de nula contaminación o muy ligera la representación de su concentración va acorde a



**Figura 58.** Medición vespertina de xilenos de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

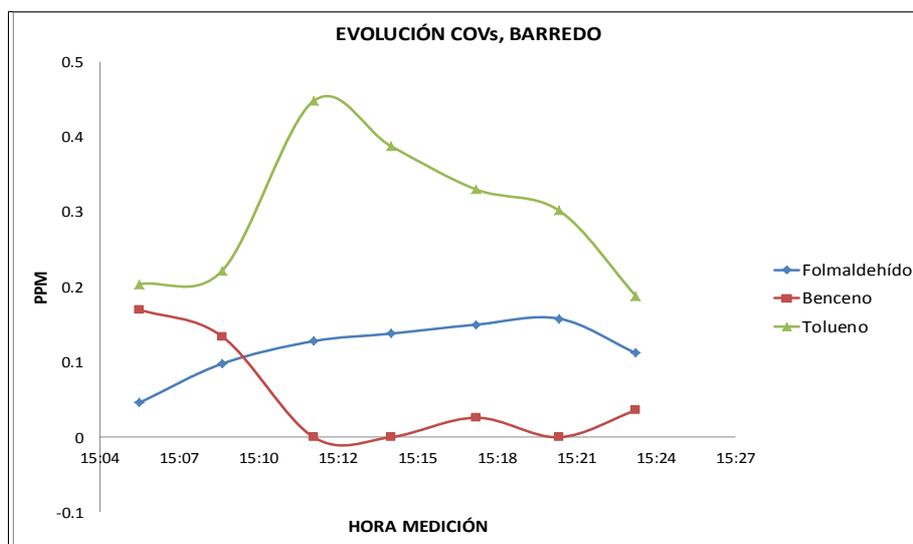
lo esperado y describe una linealidad diferente para cada uno de ellos, donde en mayor o medida se observa el incremento o descenso de éstos, es decir, que si sumamos la evolución por tiempos independientes de ellos, no se observa un global uniforme, sino que se observa una respuesta de incremento o descenso parejo en todos los casos. Por ello, entendemos que el equipo es capaz de diferenciar los tres contaminantes, es decir, no es la suma de los tres y que los ve en sus tres distintas formas y no habría separación entre ellos.



**Figura 59.** Medición vespertina de ácido acético de C-Arfrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009).

Considerando que es un contaminante que no se espera encontrar en este tipo de edificación, se podría afirmar que aunque se ha detectado la concentración es nula o casi inexistente. Cabría destacar contrastando el gráfico (Figura 59) con el obtenido en el mismo día por la mañana (Figura 51), aunque salvando que el fondo de escala en este caso es ligeramente inferior dentro de que ya es cercano a 0 en ambos casos, la linealidad de la gráfica es muy pareja, si a esta observación le sumamos que el recorrido realizado es diferente del de la mañana, tendríamos que realizar una consideración independiente al recorrido

realizado. También la observación de ambos gráficos (Figuras 58 y 59) en sendos resultados se observa un descenso ligero de la línea base después de la caída de este contaminante, se debe observar también que es fruto de la tendencia de la gráfica, no hay valores registrados como negativos. Por ello, podemos sugerir que si es fuera debido al estado del equipo al inicio, para estudiarlo se ha realizado la prueba de CIESOL que elimina todo sesgo de dudas; y por otra parte, el equipo no ha registrado en ningún caso valores negativos, el dato observado al respecto es debido a un artefacto en la graficación del programa informático utilizado, Excel.



**Figura 60.** Medición vespertina de formaldehído, benceno y tolueno de C-Arrisol, Barredo. Asturias. (19/08/2009)

Acorde a los resultados encontrados en la mañana de este mismo día (Figura 52), pero habiendo cambiado el recorrido, la gráfica obtenida tras la medición vespertina (Figura 60), es fiel al paso del equipo de medida por las zonas donde se ha comprado mobiliario de oficina, siendo en estos casos donde se puede observar un ligero incremento, muy ligero dado que el máximo de contaminación del contaminante de mayor abundancia no ha llegado a media parte por millón.

## 5.2. ESCENARIO DEL C-Ddi SP2-UAL (Univ. ALMERÍA, MEDITERRÁNEO).

### 5.2.1. TOMA DE MUESTRAS.

En esta edificación la toma de muestras habitualmente se realiza entrando por la entrada principal de la planta baja, tal y como muestra el plano, posteriormente se mide en los despachos de abajo, por orden de llegada, después en los laboratorios químicos de abajo y la sala de máquinas para salir directamente al patio, donde se toman las muestras que serán contrastadas como exterior; a continuación, se sube

a la planta primera para analizar los laboratorios de instrumentación y finalizar en la magna. Este recorrido se estima en menos de dos horas de toma de muestras y análisis de resultados. Hay que considerar que en los desplazamientos del pasillo de la planta baja se almacenan residuos de laboratorio químico, siendo la toma de muestras en la parte de los bidones de residuos realizada habitualmente de la misma manera que en el resto de la edificación.

La ocupación del CIESOL por la tarde suele ser medio-bajo, en general es un día soleado, desarrollándose cierta actividad en los laboratorios así como en alguno de los despachos. El lugar donde se toman las medidas no es único, ya que gracias al carácter portátil y de medida inmediata de los equipos es posible tomar medidas en un corto espacio de tiempo y desplazar los equipos de análisis para poder realizar éstas en diferentes espacios dentro del mismo edificio. Las medidas se realizan en las cercanías de laboratorios, situándose contiguas a contenedores de residuos líquidos producto de la actividad en estos laboratorios para ser desechados y / o reciclados (ácidos, bases).



**Imagen XI.** Disposición de los dispositivos de la UIE3.

En las imágenes XI y XII se observa la disposición de los dispositivos de los contenedores con residuos líquidos de alta volatilidad.



**Imagen XII.** Disposición de los dispositivos de la UIE3 y los adsorbentes del FREMAP.

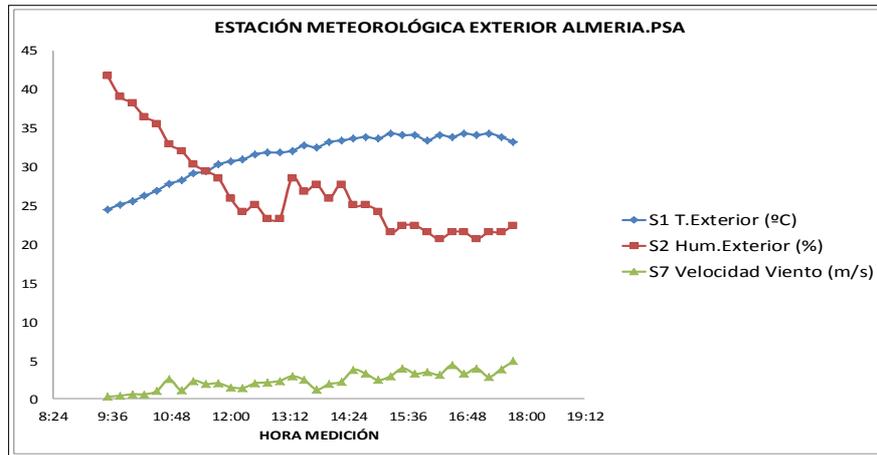
Durante el espacio de tiempo en el que se tomaron medidas no se realizan actividades que pudieran ser consideradas como anormalmente contaminantes, como pueden ser tareas de limpieza, por lo que todas las actividades pueden considerarse como normales en el exterior de laboratorios.

Los aparatos referencian sus resultados en tiempos similares, pero como no se utilizan los mismos equipos siempre en cada día de medida y estos son muy diferentes como se explica en el apartado de Instrumentación, se analiza en una primera instancia su evolución temporal dentro del periodo de medida realizado, de esta manera se observa gráficamente las posibles diferencias y cuando ha sido necesario un análisis exhaustivo de los resultados para poder determinar lo sucedido en estancias concretas, se han utilizado herramientas matemáticas para ajustar los tiempos y poder observar los resultados sincronizados en el tiempo.

### 5.3. ESCENARIOS PSA Y CIESOL (MISMA FECHA Y PROVINCIA)

Dado que en la provincia de Almería se encuentran dos de los contenedores demostradores de investigación sujetos a este estudio, cuando es posible se programan baterías de medida para obtener resultados de ambas edificaciones el mismo día, en ocasiones se ha conseguido la obtención de resultados de hasta en tres ocasiones distintas y el mismo día, de esta manera se puede hacer una misma representación que refleje tanto la evolución de cada uno, como la comparativa entre ambos.

En este día de septiembre, en el desierto de Tabernas Almería, hace un día de calor intenso que ha ido en aumento desde por la mañana a medida que han pasado las horas, con su compensación correspondiente descenso habitual de



**Figura 61.** Datos estación meteorológica exterior. PSA. Almería. (03/09/2009)

la humedad a medida que se incrementa la temperatura. El viento ha sido ligero y constante, hasta que ha comenzado la tarde, donde se ha observado un ligero incremento hasta llegar a unos valores casi de cinco metros por segundo en las últimas medidas que coinciden con el momento de los muestres.

Debido a que la estación meteorológica de CIESOL no se encuentra en estos momentos en funcionamiento, ha sido necesario utilizar los datos de la estación de la PSA (Figura 61), que a pesar que el clima cambia de mediterráneo a desértico, la distancia aproximada entre ambas edificaciones es de unos cuarenta kilómetros. A la hora de analizar los resultados de CIESOL esta ha sido una de las consideraciones que se han tenido en cuenta.

### 5.3.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

Dada la proximidad entre ambas edificaciones, ya que los desplazamientos entre ellas son de un carácter más sencillo, que realizar un desplazamiento específico para cada una de ellas, que los equipos se han calibrado independientemente para poder obtener resultados fiables en ambas y que se han utilizado los mismos datos climáticos, se procede a comentar los resultados de una forma conjunta de donde resulta una comparación directa entre ambas edificaciones el mismo día.

El recorrido que se realiza en CIESOL en las dos baterías de medidas de este día, comienza en la planta baja, en el despacho del fondo para ir recorriendo hacia los laboratorios de esta misma planta, cada estancia que nos encontramos al paso, incluyendo una zona habilitada como comedor de trabajadores, tras muestrear en estos laboratorios se accede al patio interior que comunica con el exterior de captadores solares ya que se encuentra abierto, posteriormente se asciende a la planta primera y se analizan los laboratorios de física, baño y la terraza del captadores en el exterior de abajo nuevamente.

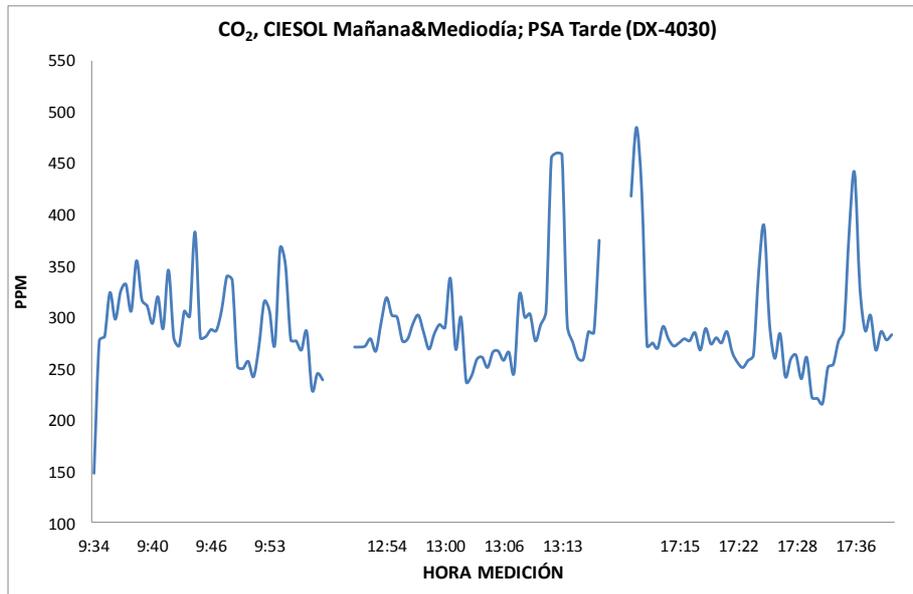
En la PSA el recorrido que se realizado ha debido de ser variado ya que en la sala de reuniones se mantenía una ocupación total debido al curso habitual del trabajo, donde no se ha accedido directamente por no interferir en las reuniones en curso. Se ha comenzado como es habitual, por el despacho más alejado de esta edificación, dirección al hall central, analizando cada despacho únicamente que se encuentra al paso, para poder llegar sobre las 17:25 h a la sala de reuniones aprovechando un descanso de los ocupantes, desde ahí se accede al exterior y regresa nuevamente a la edificación por el hall para deshacer el camino analizando el resto de las estancias no analizadas, es decir las que están en frente de los despachos ya analizados, desde el auditorio hasta la cafetería pasando por los baños (caballeros), la sala de control y la gran sala de becarios. Finalmente, se accede al pasillo para ir al exterior y obtener una muestra adicional del exterior en la parte opuesta a la ya tomada.

Dado el requerimiento de movilidad y agilidad para poder realizar un triple muestreo en un mismo día de dos edificaciones diferentes separadas entre sí lo suficiente para que cambie el tipo de clima y que el transporte de los equipos es muy delicado y han de ser calibrados, se ha seleccionado el DX4030 como equipo asignado para este trabajo, ya que es el que más resultados puede recoger, es portable y se pueden detectar los errores o posibles problemas en el acto, ya que va asociado a una PDA que va mostrando de una manera casi inmediata los parámetros de calibración, configuración y resultados de los análisis, aunque para un análisis detallado de los resultados obtenidos, sea necesario el volcado y análisis de dichos resultados en el laboratorio de calidad de aire en Madrid.

Como es de esperar en ambas edificaciones el sistema de climatización está en funcionamiento, siendo el aire analizado en el interior de la edificación tratado para que los usuarios tengan una temperatura de consigna lo más cercana a confort.

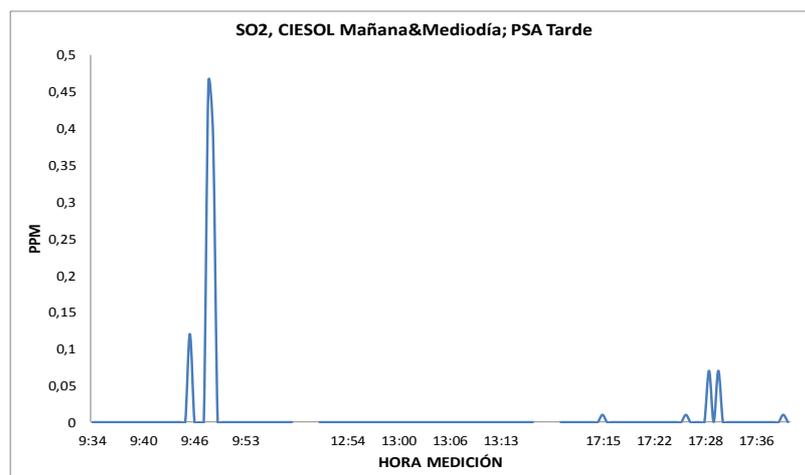
Se puede observar en la gráfica (Figura 62) que los niveles de contaminación en este caso apenas varían de una edificación a otra, en incluso la poca influencia que tiene la ocupación, salvo en zonas puntuales de ocupación

máxima de una estancia como se ve que ocurre en la PSA en el despacho donde comienzan las medidas, la sala de reuniones o cafetería.



**Figura 62.** Datos de concentración total de COVs. PSA. Almería. (03/09/2009)

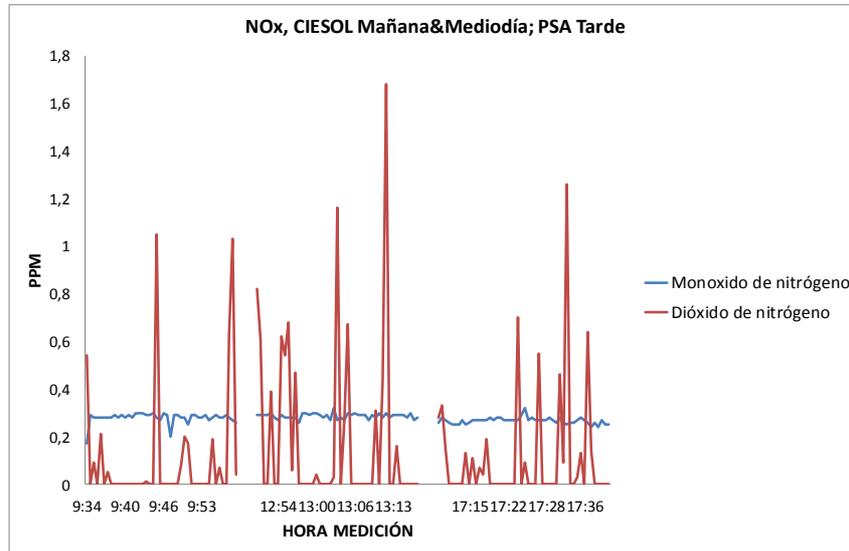
Los niveles ambientales no difieren de una ubicación a la otra y estando en ambos las climatizadoras encendidas, con los filtros de aire obligado para el paso del aire del exterior al interior, una temperatura exterior elevada que hace que las climatizadores trabajen con un alto rendimiento, las renovaciones de aire son tan rápidas que el nivel de este contaminante es en la mayoría de los momentos igual que al encontrado en el exterior.



**Figura 63.** Medición de SO<sub>2</sub>. CIESOL (mañana y mediodía) PSA (tarde). Almería. (03/09/2009)

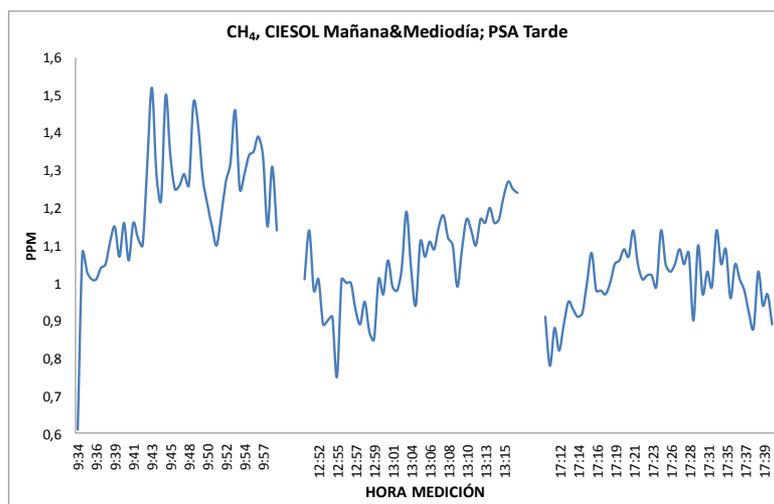
Ya se ha observado experimentalmente que este (SO<sub>2</sub>) no es contaminante del que dependa la ocupación de la edificación, en este caso es otra prueba más

de ello, ya que en el exterior no se ha detectado y en los dos momentos puntuales que ha habido presencia, el pico máximo detectado sigue siendo considerado casi nulo (Figura 63).



**Figura 64.** Medición de NO<sub>x</sub>. CIESOL (mañana y mediodía) PSA (tarde). Almería. (03/09/2009)

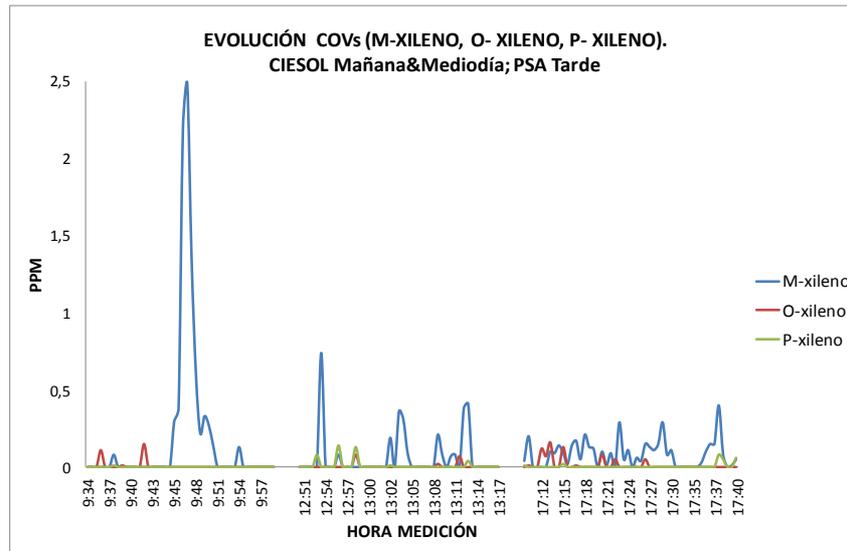
En el caso de los derivados del nitrógeno (Figura 64), en el caso concreto del monóxido se detecta la misma línea base durante todo el proceso de medidas, este es un hecho representativo que puede indicar que el aire es exactamente el mismo en ambas edificaciones y que la influencia de los ocupantes se ve más afectada por el dióxido.



**Figura 65.** Medición de CH<sub>4</sub>. CIESOL (mañana y mediodía) PSA (tarde). Almería. (03/09/2009)

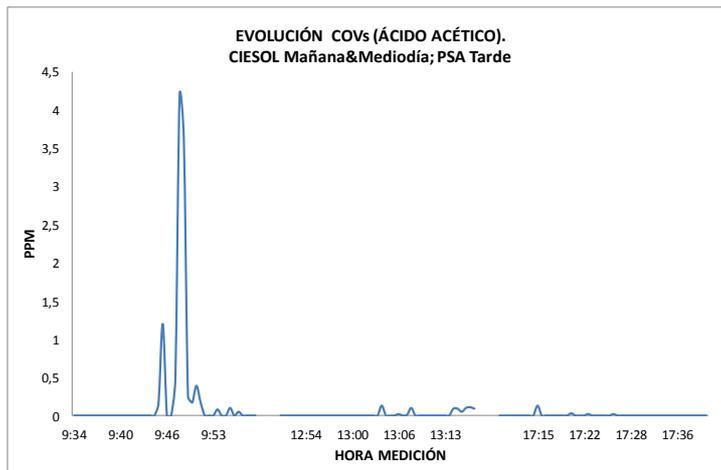
Según se observa en la figura 65, la influencia del metano depende directamente de los ocupantes de la edificación o de la propia edificación,

siempre teniendo en cuenta el aporte con el que llega el aire desde el exterior. En el caso de CIESOL, en la medida tomada en la mañana, parece haber habido en el interior de la edificación un ligero incremento, que a medida que se han sucedido las horas ha desaparecido hasta llegar casi al valor ambiental registrado. En el caso de la PSA no se ha visto este efecto, se ha mantenido prácticamente la misma concentración dentro que fuera y a lo largo de todo el recorrido por la edificación.



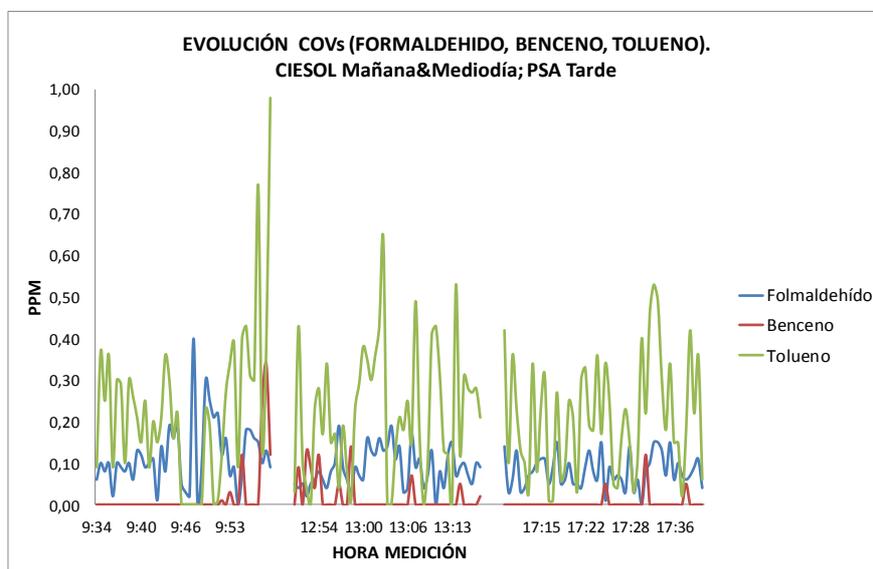
**Figura 66.** Medición de xilenos. CIESOL (mañana y mediodía) PSA (tarde). Almería. (03/09/2009)

En líneas generales los xilenos (Figura 66) no han tenido presencia en las medidas de todo el día, en ambas ubicaciones e incluyendo los exteriores. El pico de CIESOL detectado, a pesar de que no se debe de considerar como una concentración elevada, coincide con los muestreos realizados en los laboratorios químicos, es muy posible que sean los derivados o residuos del trabajo que en ellos se realiza ese ligero incremento, que aunque destaque en la gráfica, lo hace por ser el máximo detectado y no por contar con un valor alto.



**Figura 67.** Medición de ácido acético. CIESOL (mañana y mediodía) PSA (tarde). Almería. (03/09/2009)

El mismo efecto que se ha producido en los xilenos (Figura 66), se produce en el caso del ácido acético (Figura 67), el cual no es un elemento que se encuentre normalmente en el ambiente, y suele ser un aporte directo y debido a su fácil evaporación se puede utilizar como control de contaminación para disolventes en ciertos casos, en este caso concreto la observación de esta gran influencia coincide con el muestro de los laboratorios de química de CIESOL, corroborando dicha observación.



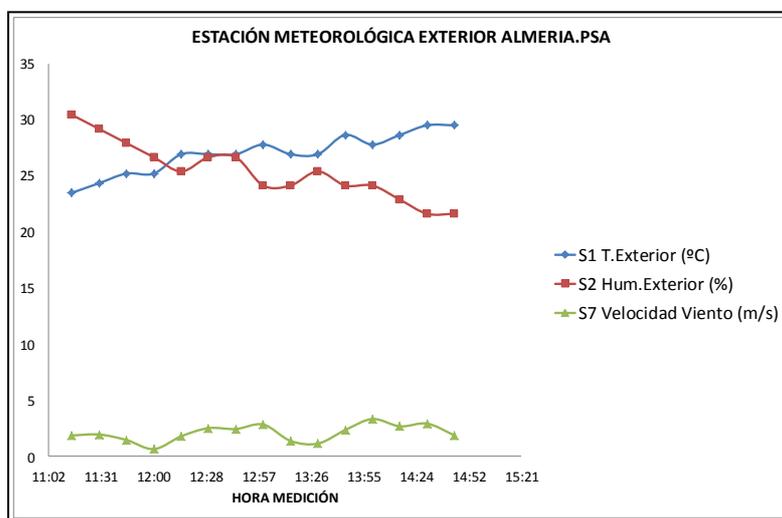
**Figura 68.** Medición de formaldehído, benceno y tolueno. CIESOL (mañana y mediodía) PSA (tarde). Almería. (03/09/2009)

En la observación de esta gráfica (Figura 68) lo más importante a considerar es que el fondo de escala va de cero a una ppm, ya que aunque se ha detectado continuamente presencia de estos contaminantes, en ningún caso ha sido

alarmante y si se considera que los momentos en los que alguno de ellos ha superado la media ppm, es en unos momentos muy puntuales y tan sólo del tolueno.

### 09/10/2010 PSA y CIESOL

En este día de octubre en el Tabernas, la temperatura ha ido incrementándose paulatinamente con el paso de las horas hasta llegar casi a 30°C mientras que la humedad, ya era bastante baja en el comienzo del día y como es lógico con el aumento de temperatura ha seguido descendiendo hasta unos valores realmente bajos, este efecto es propio de un clima desértico. El viento ha sido continuo durante todas las horas que ha durado el muestreo, a intervalos de ligeras rachas más intensas, pero casi constante en todo momento (Figura 69).



**Figura 69.** Datos estación meteorológica exterior. PSA. Almería. (09/10/2010)

Dado que en la gestión de los datos que se han obtenido de la garita meteorológica de CIESOL, ubicado en el campus de la Universidad de Almería, se han adquirido con ciertos criterios de configuración y no se han podido verificar o contrastar estos valores para garantizar que sean acordes a la realidad, ha sido necesario utilizar como datos de referencia los que se han adquirido del sistema de control de la estación de la PSA, ubicada a unos cuarenta kilómetros aproximadamente de la edificación de CIESOL, como bien ha quedado referenciado, pese a la proximidad entre ambas ubicaciones, el tipo de clima es completamente diferente, ya que en un caso existe la influencia mediterránea mientras que en el otro, es el desierto de Tabernas el que define el tipo de clima.

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

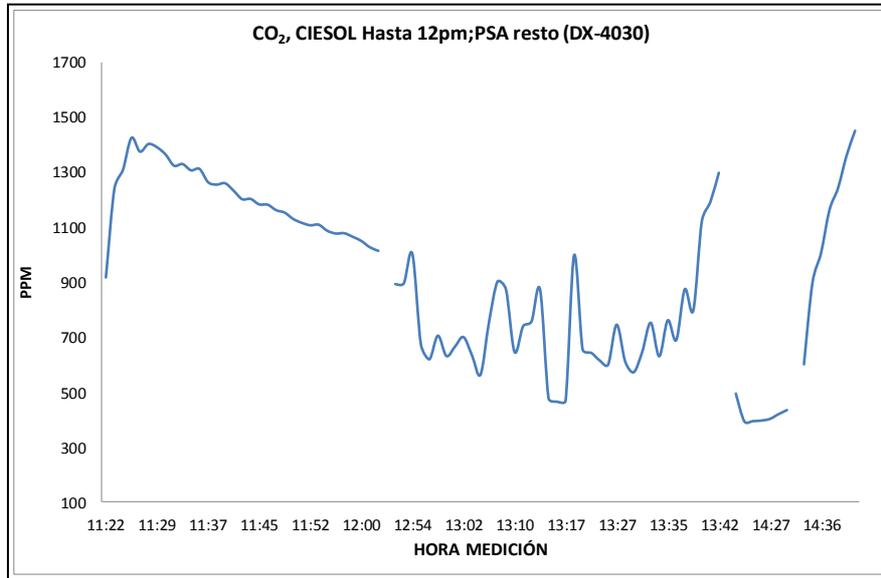
Aprovechando el desplazamiento realizado, que los datos meteorológicos a utilizar son los mismos en ambas edificaciones, su proximidad entre ellas, se plantea un horario de trabajo para poder obtener resultados fiables de ambas edificaciones. Sea el objetivo la obtención de resultados en tres baterías de medidas, la primera en CIESOL y las otras dos en la PSA.

Dado que las necesidades de este día implican la necesidad de una cierta libertad de movimientos, así como garantizar que las muestras que se tomen sean fiables, el equipo que mayores garantías ofrece para este trabajo es el DX4030, además de que cuenta con la posibilidad de ir revisando groso modo que los resultados que se están obteniendo sean válidos para este trabajo de investigación in situ y en cada momento.

El recorrido que se ha planteado para muestrear en CIESOL, ha tenido en cuenta que el tiempo para calibrar el equipo y su posterior medición en CIESOL es bastante ajustado, consecuentemente, se ha comenzado a medir en el exterior, accediendo a la edificación por el acceso principal que da al hall, para muestrear directamente en los laboratorios de química de la planta baja, luego los despachos, subir a la primera planta y analizar los laboratorios de física desde el primero que se encuentra al paso hasta el último, ubicado en la zona más alejada de los laboratorios de la planta baja, donde se da por finalizada el muestreo de esta edificación para este día. A pesar del calor exterior en el interior hay al menos una climatizadora que no está en funcionamiento y algunos usuarios han preferido mantener la ventilación natural frente a encender su sistema de acondicionamiento, debido a ciertas molestias asociadas que lleva el sistema de climatización de este contenedor, según han observado los propios usuarios de dicha edificación.

En la PSA se han tomado dos muestreos completos de esta edificación, en el primer caso concluye antes de las dos de la tarde y el recorrido realizado no ha sido el habitual, pero sí el que ya se ha realizado en alguna ocasión debido a la gran ocupación de todas las salas, para no interferir en el trabajo de los usuarios. Se ha comenzado por la zona de despachos desde el más alejado al hall, muestreando al paso los despachos que se encuentran, llegando al auditorio, hall, sala de reuniones, salida al exterior y se entra nuevamente por el hall para continuar por la gran sala de usuarios, cafetería y sala de máquinas, que está abierta parcialmente al exterior. Trascorrida más de media hora en reposo del equipo, se procedido a realizar el segundo muestreo de la PSA, empezando por el mismo despacho, pero al paso por los despachos contiguos se empiezan a detectar problemas de batería en el equipo, consecuentemente se accede al exterior para poder tomar una muestra de comparativa, pero la salida más cercana es a través de la cafetería que da

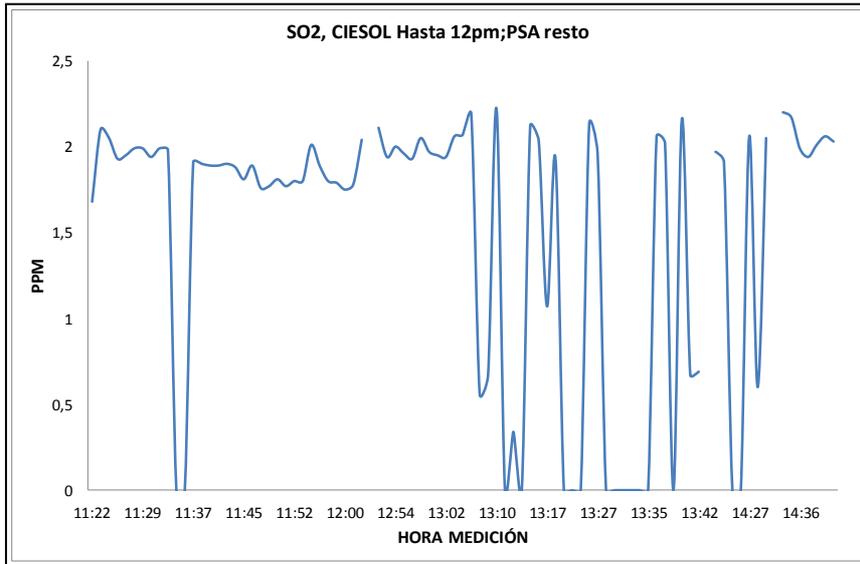
directamente a la zona de la sala de máquinas que como se ha indicado comunica directamente en ese mismo punto con el exterior. En este día, el sistema de climatización de la PSA se encuentra en funcionamiento, haciendo uso de sus filtros para tratamiento de aire a la entrada de cada punto de toma de aire del exterior.



**Figura 70.** Medición de CO<sub>2</sub>. CIESOL (hasta las 12 pm;) PSA (resto). (DX4030). Almería. (09/09/2009)

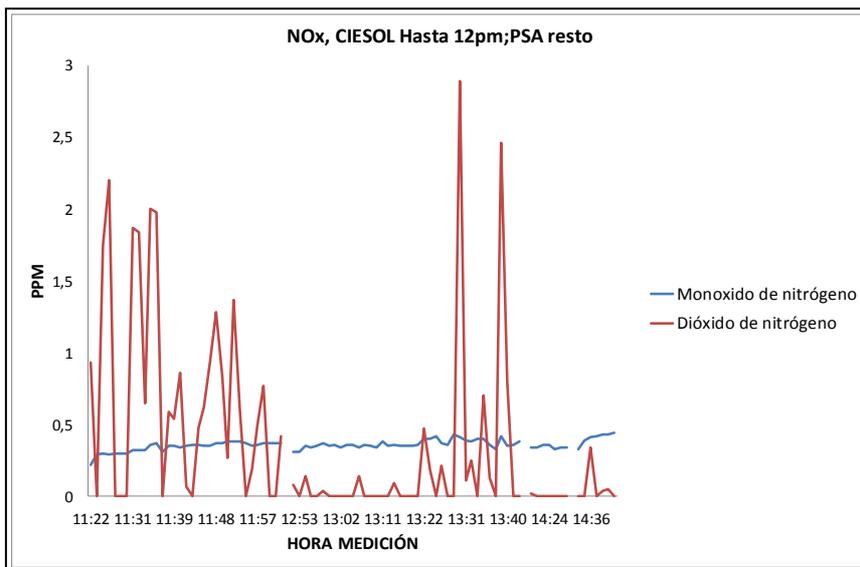
En este día, la concentración de CO<sub>2</sub> ambiental es muy elevada (Figura 70) frente a los datos recogidos en otros días de medida, a este hecho se le suma que todos los equipos de los laboratorios de química están funcionando ya hay una actividad de trabajo considerable, también destacable que cada laboratorio cuenta con un pequeño patio abierto al exterior, que coincide justo con el punto de acceso a la edificación. A medida que el muestreo se aleja de esa zona de gran actividad, la concentración de este contaminante disminuye acercándose a la medida en el exterior.

En la PSA la contaminación exterior también es muy elevada, notablemente superior a lo registrado en otros días. No obstante el hecho de que el aire interior venga con un tratamiento físico del exterior, ayuda a que aunque la ocupación y actividad de los usuarios es elevada, la concentración es incluso en algunos puntos, inferior a la del exterior. En el segundo muestreo, la observación más notable también observada en el de esta edificación, es que en las inmediaciones de la sala de máquinas la contaminación incluso estando en el exterior es bastante elevada.



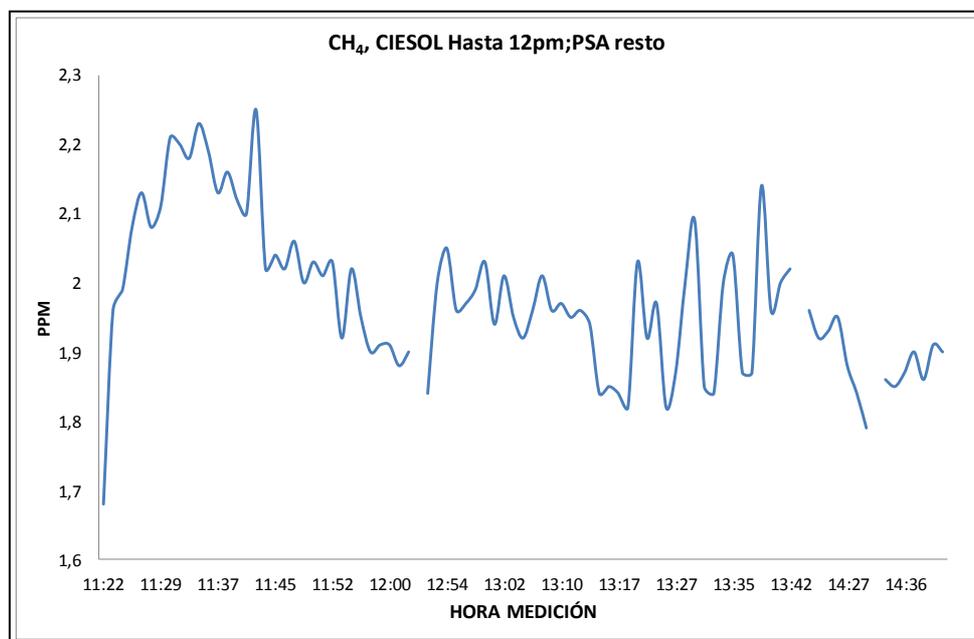
**Figura 71.** Medición de SO<sub>2</sub>. CIESOL (hasta las 12 pm;) PSA (resto). Almería. (09/09/2009)

Tal y como muestra esta representación (figura 71), el SO<sub>2</sub> ambiental tiene ya una carga de concentración de unas dos ppm en ambas edificaciones, dentro de CIESOL excepto en las zonas de despachos que son las más aisladas tanto del exterior como del propio contenedor, no se ha registrado presencia de este contaminante; de igual forma se ha observado este mismo efecto en la PSA, en ciertas zonas se ha detectado la misma presencia que hay en el exterior, sin embargo en algunas zonas del interior, no ha dado positivo en presencia este contaminante.



**Figura 72.** Datos de medición de NOx. CIESOL (hasta las 12 pm;) PSA (resto). Almería. (09/09/2009)

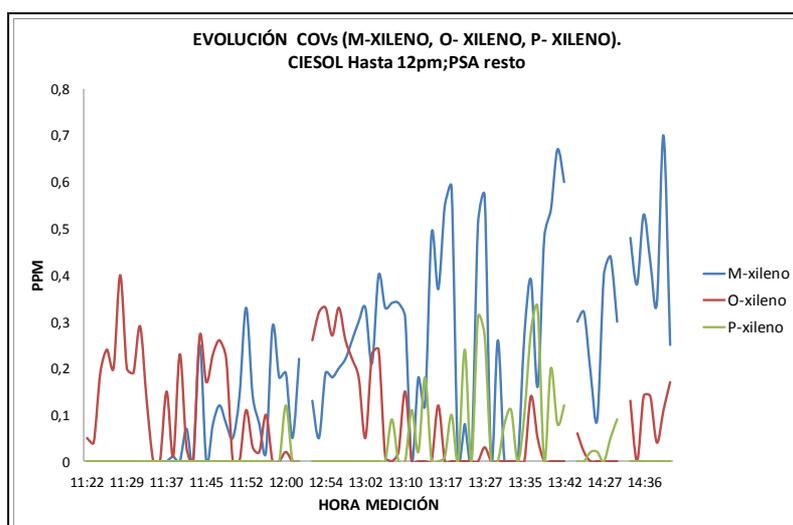
El monóxido de Nitrógeno (Figura 72), ha sido una constante a lo largo de todo el día independientemente de la zona de medida, e incluso sin diferenciación de si es dentro o fuera de una edificación, sin embargo el dióxido sí ha dejado una ligera constancia de incremento en las zonas donde se está trabajando con equipos o máquinas, bien sean de laboratorio o de climatización.



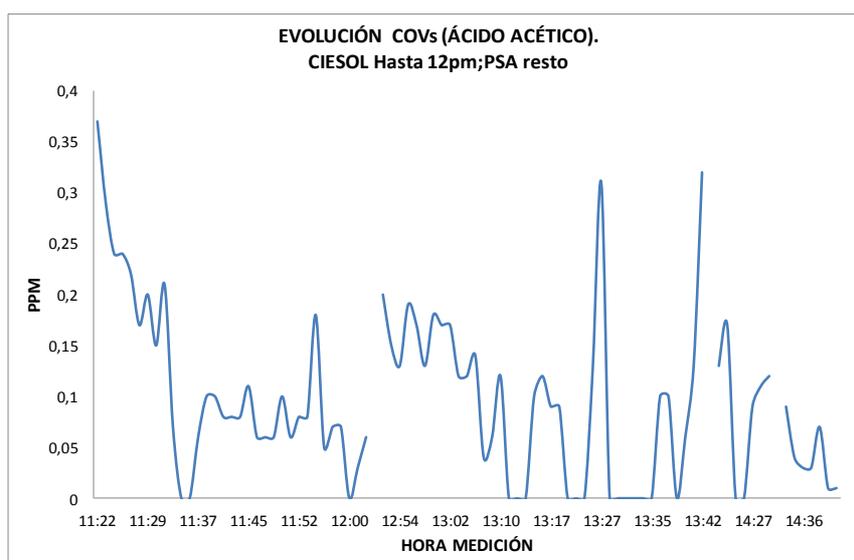
**Figura 73.** Medición de CH<sub>4</sub>. CIESOL (hasta las 12 pm;) PSA (resto). Almería. (09/09/2009)

En la zona mediterránea se observa cómo es ligeramente menor el metano ambiental que en la desértica, no es una variación muy elevada en valores absolutos pero si en comparación, sin embargo, dentro de la edificación de CIESOL sí se ha observado cómo en la planta baja, tanto en la zona de laboratorios como en la de despachos, es ligeramente más elevada; en el caso de la PSA, aunque se observan variaciones, la media es inferior que en CIESOL y los mínimos son coincidentes con el valor recogido en el exterior (Figura 73).

La observación de la concentración de los xilenos durante todo el día en ambas ubicaciones (Figura 74), deja constancia como a penas se encuentra presencia de estos, tan sólo en una de sus formas se ha superado la media ppm en la PSA, valor que sería considerado como nulo con otros equipos de detección posiblemente.



**Figura 74.** Medición de xilenos. CIESOL (hasta las 12 pm;) PSA (resto). Almería. (09/09/2009)

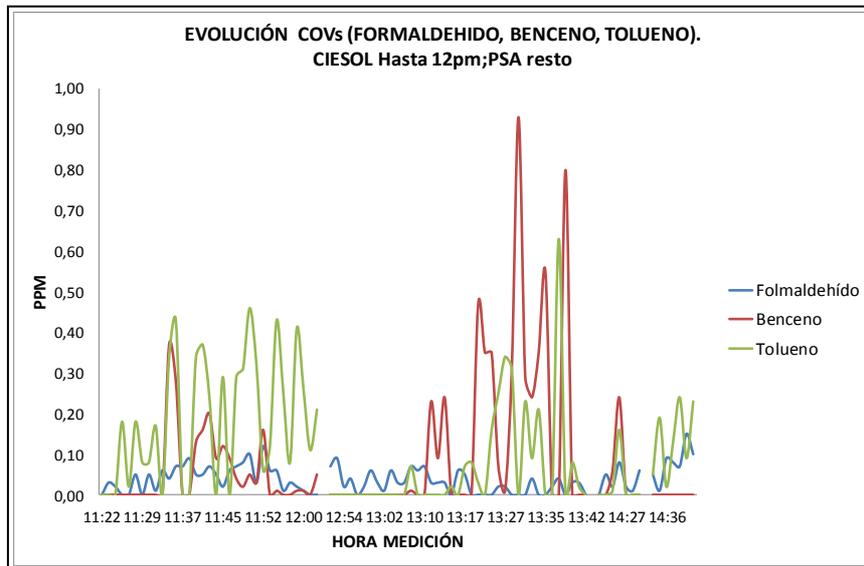


**Figura 75.** Medición de ácido acético. CIESOL (hasta 12 pm;) PSA (resto). Almería. (09/09/2009)

En el caso del COVs (ácido acético) (Figura 75), se observa como en la entrada de CIESOL, punto cercano a los patios de los laboratorios de química la concentración ha sido la máxima, muy posiblemente por el trabajo que se esté realizando en ellos, sin embargo al acceder a la zona de despachos de la misma planta, que cuenta con una puerta cerrada al inicio de este, la contaminación encontrada es nula, pero en la primera planta, aunque en menor medida, si se han encontrado restos de este contaminante.

Para la PSA, en la edificación sujeta de estudio, no sería esperable encontrar este tipo de contaminación, a no ser que provenga del exterior por la

proximidad de otras edificaciones donde se trabaje con acético o quizás si algún producto de limpieza que se utilice lo contenga. Observando que el fondo de escala es muy bajo y que la gráfica no es continua, lo que refleja, es como en algunos puntos dispares de la edificación, ha quedado ligeros restos de esa contaminación.



**Figura 76.** Medición de formaldehído, benceno y tolueno. CIESOL (hasta las 12 pm;) PSA (resto). Almería. (09/09/2009)

Esta representación (Figura 76), que se ha elaborado para una escala de cero a una ppm, incluso en el máximo la concentración de cualquiera de estos contaminantes es muy baja. Ya que en CIESOL, ningún contaminante supera la media ppm y el que se acerca es el tolueno, se pasa a comentar que en el caso de benceno para la PSA en las zonas alejadas a los despachos se ha detectado una ligera contaminación, con unos incrementos tanto dentro como fuera en las localizaciones más próximas a la edificación de laboratorios de química.

#### 5.4. ESCENARIO DEL C-Ddi (ED 70) ARFRISOL DE MADRID.

##### 5.4.1. TOMA DE MUESTRAS.

En esta edificación tiene varios accesos, por el sótano tiene un acceso independiente a la sala de máquinas y calderas, con ventilaciones directas al exterior, en la planta baja tiene un acceso en la parte central de la edificación por la parte que da a la edificación análoga tal y como se observa en la imagen IV, en esa misma situación pero situándose entre esta planta y la primera tiene un segundo acceso opuesto a este. También el extremo Norte de la planta baja hay un acceso, aunque sólo sería utilizable en caso de emergencia.

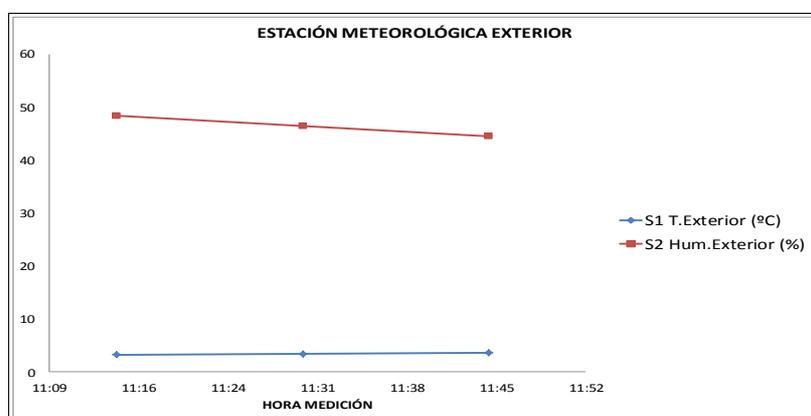
El recorrido habitual sería empezar por el acceso de emergencia, para recorrer el pasillo analizando los despachos que hay a ambos lados, para llegar al fondo y poder subir una planta y realizar el recorrido inverso analizando los laboratorios, estimando este recorrido en aproximadamente una hora.

Esta edificación en sí misma difiere en muchas cosas del resto, la diferencia más notable es que posee más de 2.000 m<sup>2</sup>, que casi el doble que el resto de las edificaciones sujetas de estudio, otra diferencia clara es que en la segunda planta se encuentran los laboratorios nacionales de referencia en estudios de la hematopoyesis, con lo cual el acceso es muy restringido y las necesidades de demanda energética muy elevadas, consecuentemente se ha de tener en cuenta a la hora de analizar los resultados obtenidos.

Como edificación sujeto de estudio, sería la más adecuada desde el punto de vista de la arquitectura bioclimática y calidad de aire en interior de edificaciones, ya que esta tenía un Proyecto de obra desde el año 1975 cuando se comenzó a construir y al finalizar la obra cuando aún faltaba por construir el resto hasta obtener una ampliación de presupuesto, no se ha retomado hasta el año 2007. Esta circunstancia permite comparar como ha evolucionado la construcción convencional frente a la arquitectura bioclimática, con materiales diferentes e instalaciones acordes a otras necesidades, lo que permite hacer una evaluación de la calidad de aire confrontando experimentalmente resultados de la misma edificación construida en dos épocas diferentes, dicho estudio no es el fruto de este trabajo aunque ya ha sido referenciado como trabajo previo al actual.

**14/12/2009 ED70**

En este día de invierno las condiciones ambientales son las habituales que cabe esperar para estas fechas y en esta localización (Figura 77). Sin lluvia, un día seco y frío.



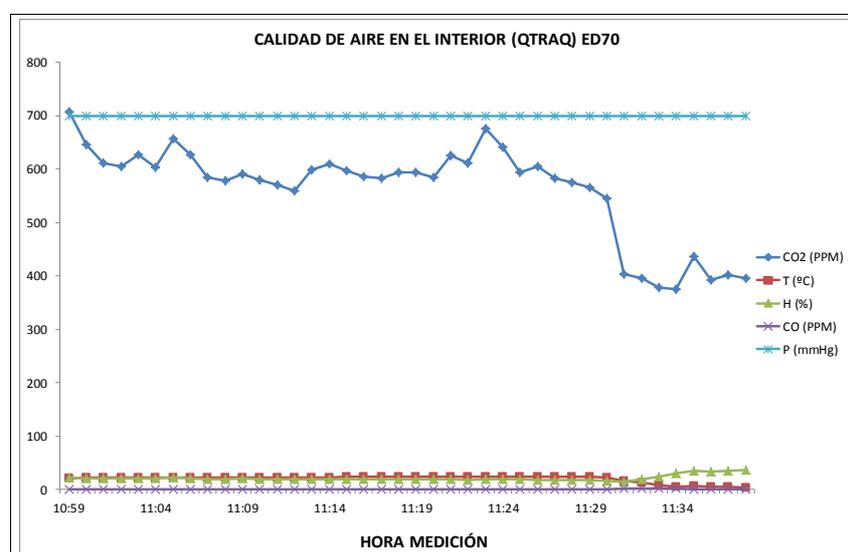
**Figura 77.** Datos estación meteorológica exterior. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

## 5.4.2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

El recorrido que se ha realizado en esta edificación ha sido la que permite la situación, ya que hay ciertas zonas dedicadas a laboratorios de bioquímica con ciertas prohibiciones de acceso que se deben tener en cuenta, al igual que el ascenso a la azotea o descenso al sótano, donde están la sala de máquinas también queda condicionada a la obtención de permisos para su acceso.

Se ha iniciado en la planta primera, recorriendo el pasillo desde el fondo hasta las escaleras, donde se desciende y se va por el pasillo de la planta primera hasta salir por el fondo, puerta de emergencia al exterior para realizar los últimos muestreos. Durante el recorrido, se ha entrado en los despachos de la planta baja y en los laboratorios que tienen el acceso libre de la primera planta. Los equipos utilizados han sido previamente calibrados y testeados en el laboratorio, ya que esta edificación queda en el mismo complejo y se puede tener acceso a ella caminando, sin necesidad de hacer los ajustes propios de un desplazamiento.

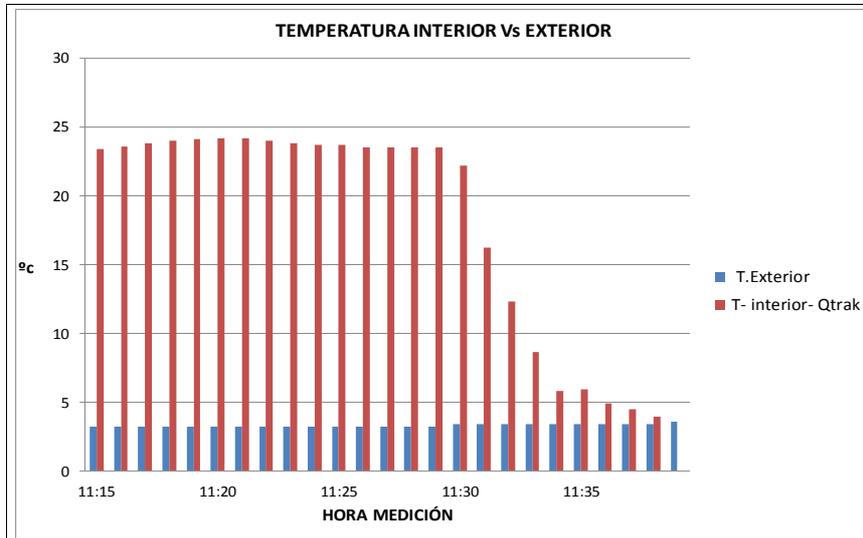
Al ser un día frío, el sistema de climatización está encendido, también al ser un día de máxima ocupación, las ventanas y puertas de accesos se han mantenido en uso, teniendo en ocasiones estancias con ventilación al exterior y en otras han estado más aisladas del exterior y pasillos.



**Figura 78.** Datos matutinos de calidad del aire interior. ED70 C-DdI Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

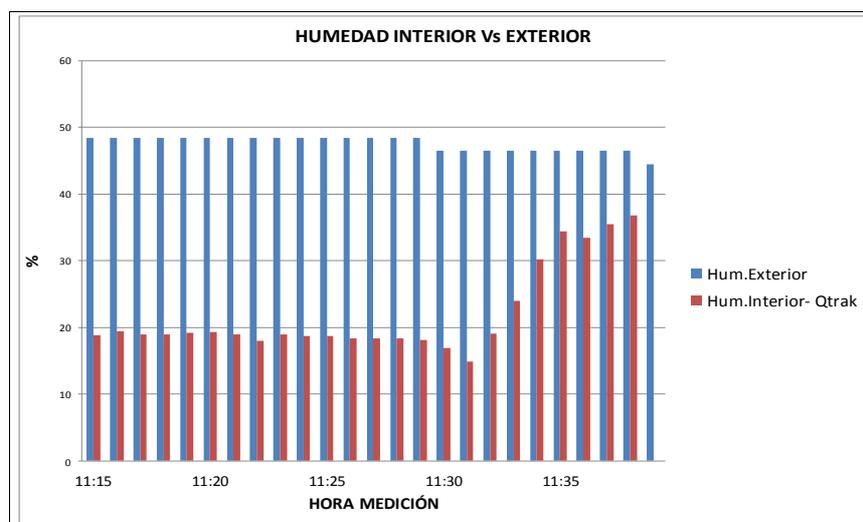
En lo que a calidad de aire se refiere (Figura 78), dado que son medidas que se toman de interior y estando la climatizadora encendida, los parámetros de temperatura son que estipula el usuario por consigna, eso conlleva un

tratamiento de aire, que a su vez hace que descienda la humedad. Igualmente se observa, que a pesar que esta edificación está ubicada en Madrid y se espera un índice de contaminación elevado, es un día de gran ocupación y queda reflejado en los datos adquiridos.



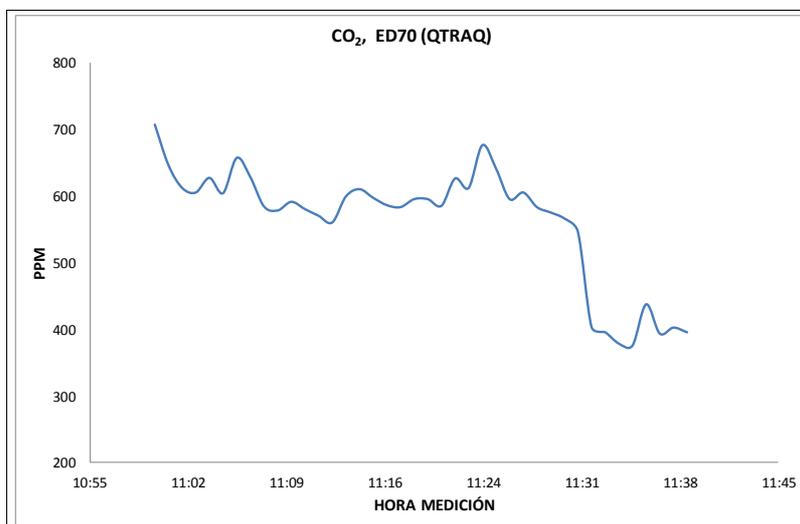
**Figura 79.** Datos matutinos de temperatura int. y ext. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

Es esta gráfica comparativa (Figura 79), se ve claramente como el interior de la edificación está siendo tratado para mantener una temperatura de consigna estable, pero a medida que se recorre la planta baja en dirección a la salida de emergencia al exterior, no se ha cuidado la estanqueidad de la edificación, dando lugar ese descenso progresivo a medida que se acerca al exterior hasta llegar a igualar las temperaturas, ambos sensores situándose fuera.

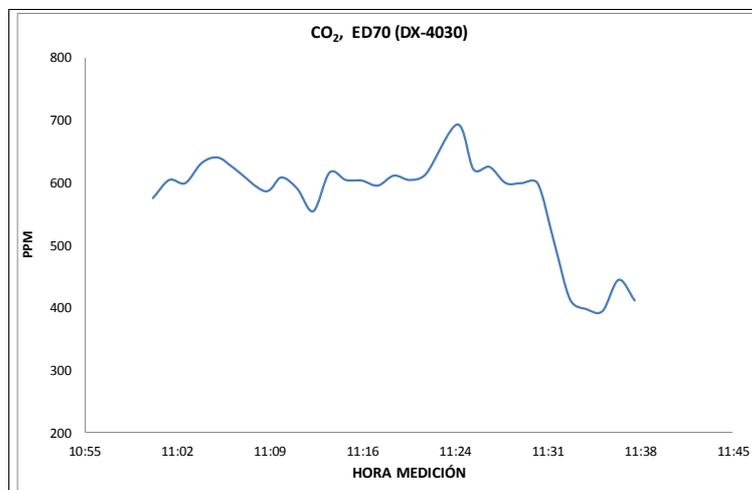


**Figura 80.** Datos matutinos de humedad int. y ext. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

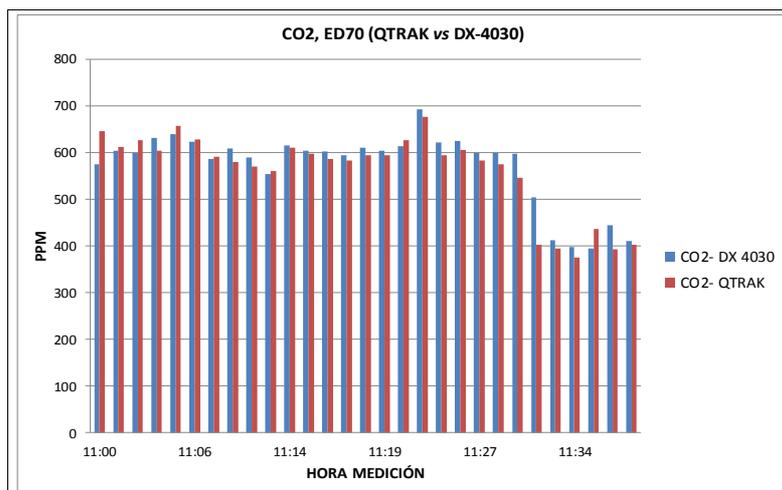
El efecto contrario que se ha observado con la temperatura (Figura 79), sucede con la humedad (Figura 80). Al ser necesario un tratamiento del aire para calentarlo, éste ha perdido parte de la humedad que tenía al entrar en el sistema de climatización y al acercarse a la salida por la planta baja, ya hay una mezcla del aire interior con el exterior sin ser tratado.



**Figura 81.** Datos matutinos de CO<sub>2</sub> (QTRAQ). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)



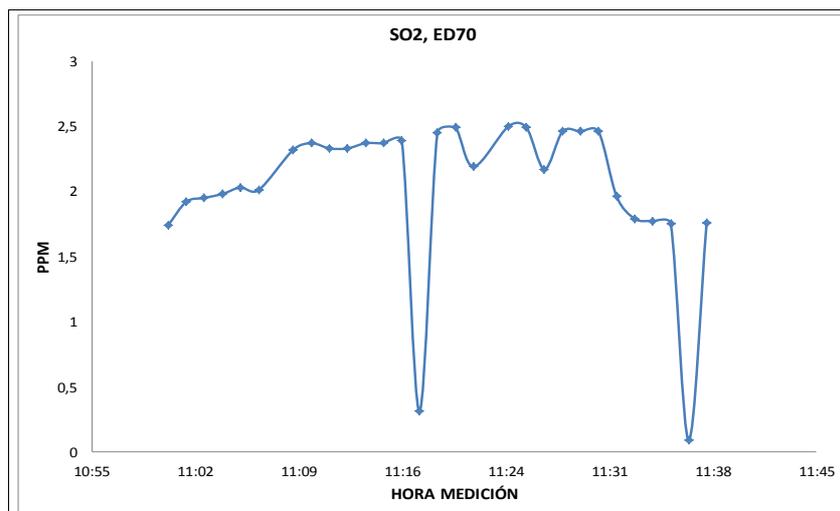
**Figura 82.** Datos matutinos de CO<sub>2</sub> (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)



**Figura 83.** Datos matutinos de CO<sub>2</sub> (QTRAK vs. DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

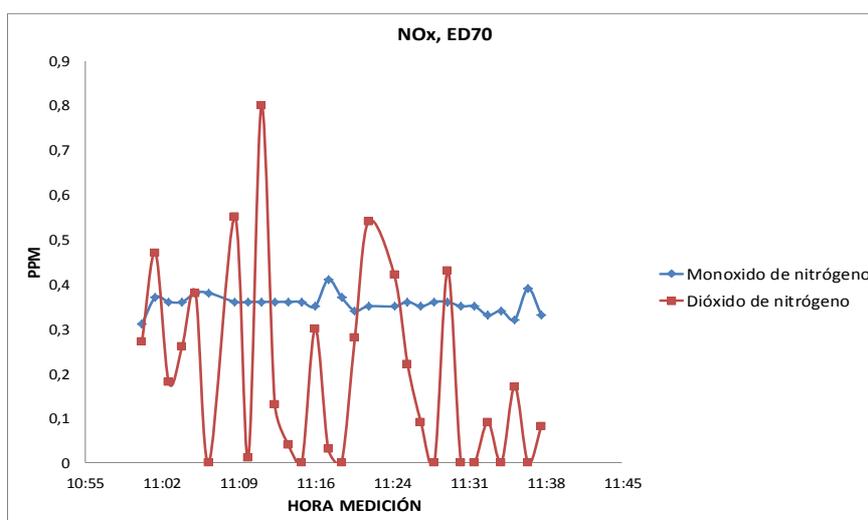
En lo que a la cantidad de CO<sub>2</sub> que se observa en ambas gráficas (Figuras 81 y 82) y por consiguiente en la comparativa (Figura 83), no se encuentra en unas cifras que superen el índice máximo recomendado por la normativa aplicable en ningún caso, pero si es muy destacable algunos aspectos de esta representación. Fundamentalmente es significativo que con distintos sistemas de medida, se lleguen a obtener los mismos resultados, con unas pequeñas diferencias aceptables, de esta manera se validaría un sistema de medida a partir del otro. También se ha de señalar como a medida que se va finalizando el muestreo avanzando por el pasillo de la planta baja hacia la salida por la puerta de emergencia, el aire que se encuentra está con una concentración similar o igual que el del exterior, de donde se deduce que esta zona, ha quedado muy expuesta al exterior, ya que ni ofrece incremento de concentración de CO<sub>2</sub> ni la humedad y la temperatura se han visto tan afectadas como en otras zonas.

En el caso del SO<sub>2</sub>, (Figura 84) se observa como apenas existe contaminación, así mismo la concentración es muy estable a lo largo de toda analítica, baja en



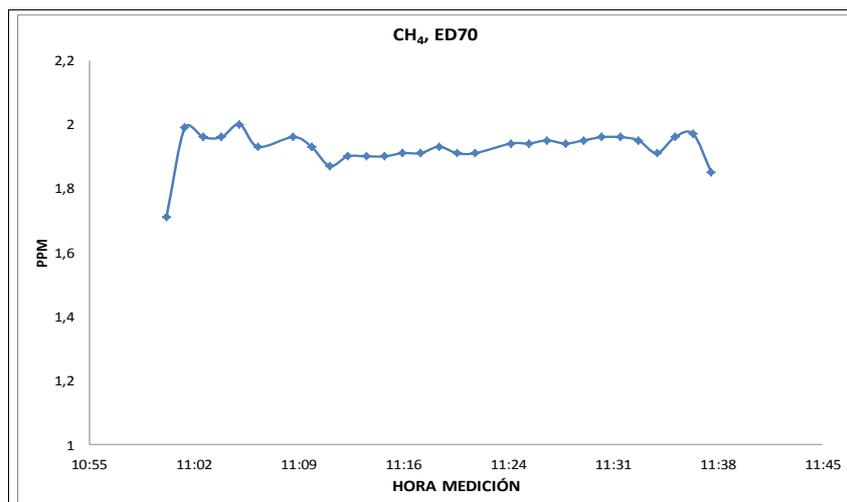
**Figura 84.** Datos matutinos de SO<sub>2</sub>. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

dos momentos puntuales a cero, que posiblemente sea por la cercanía influencia del exterior, ya que en el primer descenso coincide con la bajada de planta y en el segundo con el acercamiento al exterior.



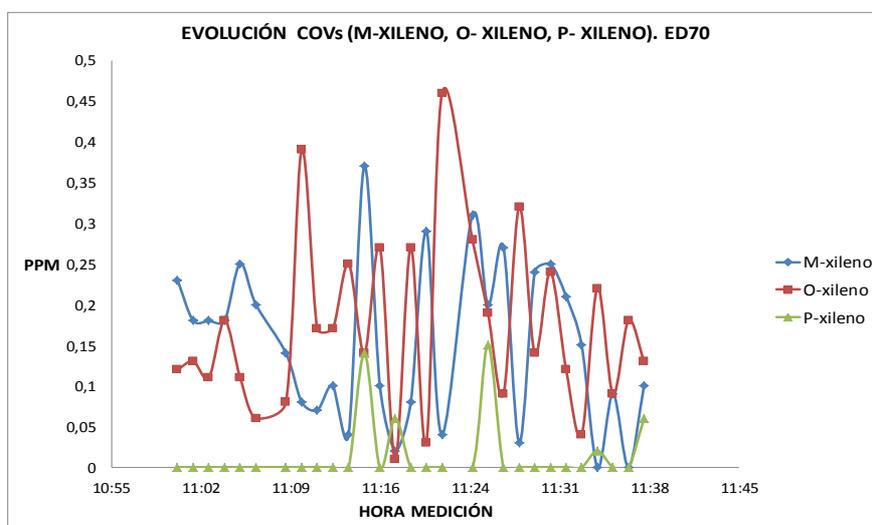
**Figura 85.** Datos matutinos de NO<sub>x</sub>. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

Dado que se está graficando frente a una parte por millón, límite bastante inferior al de detección del equipo, hay que hacer constar como ambos contaminantes (monóxido y dióxido de nitrógeno) están perfectamente identificados de tal forma que no se observa influencia de uno sobre el otro y que queda perfectamente definida la cuantificación de cada uno (Figura 85), aunque al ser un valor tan bajo, sería un resultado fiable como observación de presencia, pero no de cuantificación de contaminación.



**Figura 86.** Datos matutinos de CH<sub>4</sub>. ED70C-DdI Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

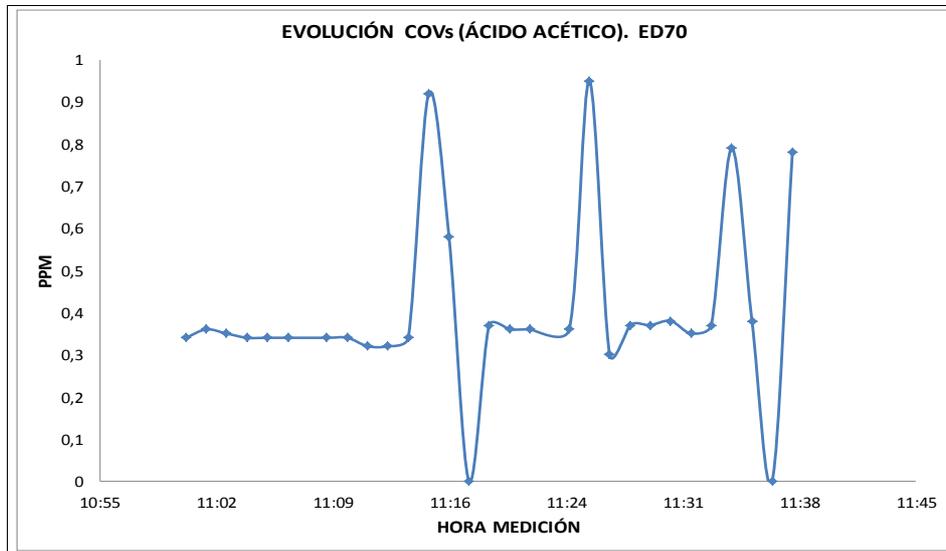
En la observación de metano (Figura 86), se ve como en toda la edificación, con un uso casi máximo de estas instalaciones, se mantiene una constante de concentración, apenas hay diferencia dentro de la batería de medidas entre las distintas zonas.



**Figura 87.** Datos matutinos de xilenos. ED70C-DdI Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

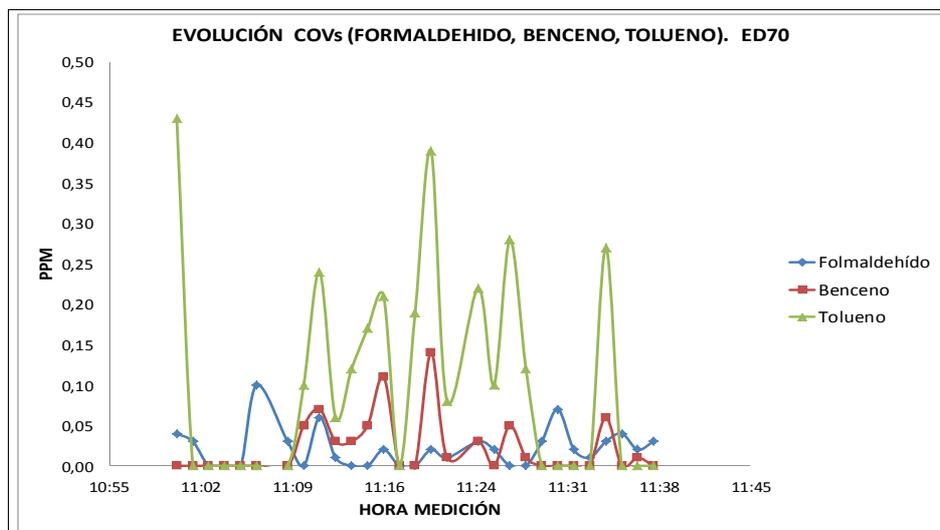
Siguiendo con la observación del comportamiento de los xilenos en este muestreo (Figura 87), se observa a pesar de su baja concentración que en la posición para, no se encuentra concentración, sin embargo en cada pico que se observa de este, hay un claro descenso en la posición orto con la que se compensa la cantidad de contaminación. Sería propio pensar que en la celda ha habido una conversión, o que el equipo ha interpretado resultados en puntos concretos, donde ha equivocado por similitud el detalle exacto del

contaminante deseado. En cualquier caso, el espectro está resuelto para una concentración no superior a media parte por millón.



**Figura 88.** Datos matutinos de ácido acético. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009).

Al igual que en la representación del SO<sub>2</sub> de este mismo día de medidas, en lo que respecta a la evolución del COVs (ácido acético) (Figura 88), se encuentra una representación muy estable con dos descensos en la concentración claramente identificados por el paso muestreando de puertas al exterior, una en el descenso del pasillo y la otra en el final de toma de muestras. También se ha de señalar que en cada descenso le ha precedido un incremento, así como otro en la mitad del muestreo que en todos los casos llegana alcanzar casi una ppm.



**Figura 89.** Datos matutinos de formaldehído, benceno y tolueno. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (14/12/2009)

En este caso (Figura 89), como en muchos otros, hay que señalar la baja concentración global y el límite del fondo de escala en abundancia a media ppm. No obstante, surgen algunas consideraciones a señalar, la primera y no más destacable es que los incrementos de contaminación van parejos, pero fundamentalmente en el caso del benceno, cuando asciende el tolueno de una forma brusca, éste también incrementa su señal, lo que induce a pensar que el equipo está detectando perfectamente los distintos contaminantes y los separa por abundancia, la prueba es que el formaldehído no va a la par con los otros dos, ya que los precursores son distintos.

24/02/2010 ED70

En este día de invierno ha sido posible hacer dos muestreos completos de la edificación, uno por la mañana y el segundo por la tarde. Lo que se observa en esta gráfica (Figura 90), es que en un día de invierno nublado, no es un día especialmente frío para esta ubicación y fecha, así como la humedad es bastante elevada.

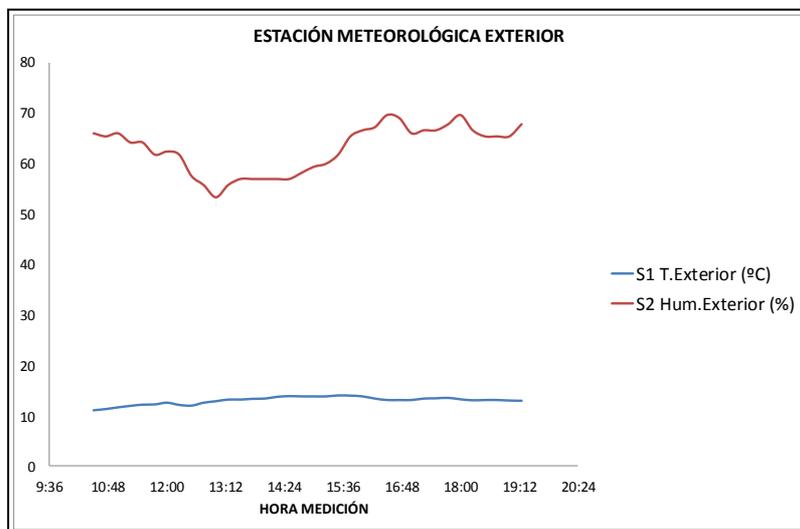
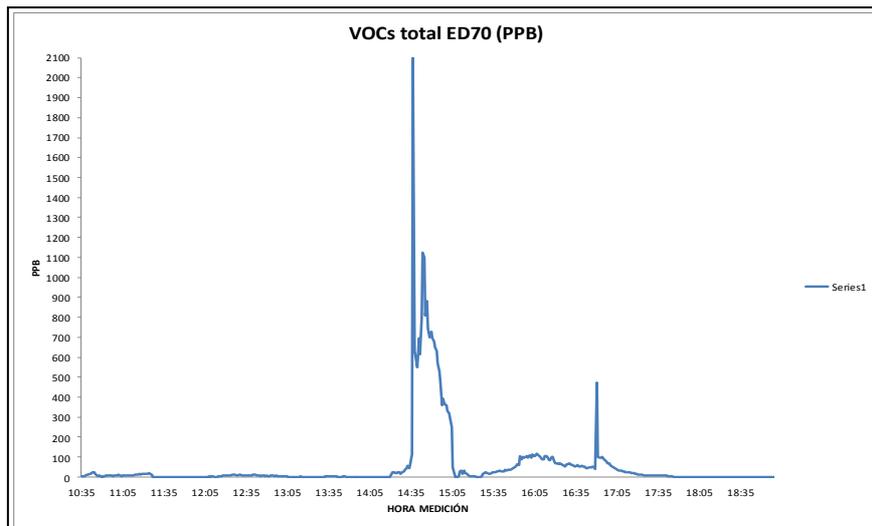


Figura 90. Datos estación meteorológica exterior. ED70C-DdI Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)



**Figura 91.** Contaminación totalizada durante todo el periodo de mañana y tarde de continuo. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

Dada la ventaja de poder evaluar durante todo el periodo de mañana y tarde de continuo, hay una observación muy relevante en lo que a la contaminación totalizada se refiere y es este gran incremento que destaca entre la hora de medio día (Figura 91). En valores absolutos no es preocupante, sigue siendo un valor muy bajo, pero el sensor es muy sensible a cualquier tipo de alcohol o elemento evaporativo al ambiente.

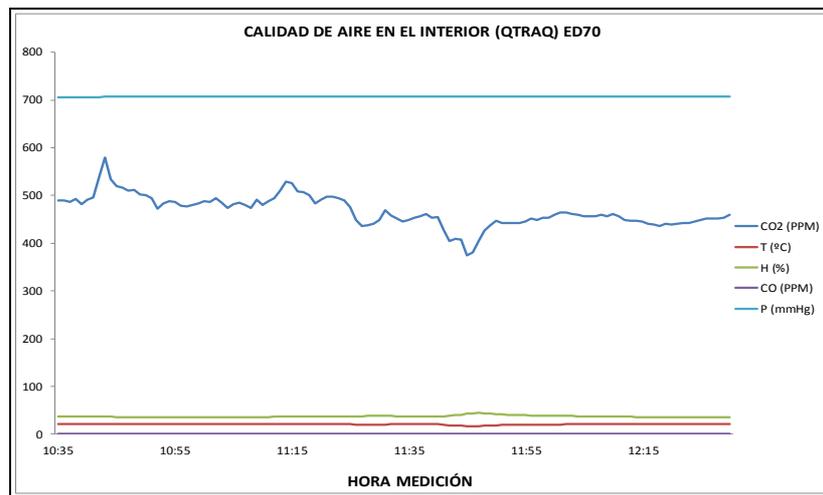
## MAÑANA.

### EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

El recorrido habitual en este demostrador es tan solo acceder a la planta baja completa y a la primera entrando en las ubicaciones y laboratorios que no se interfiera con el trabajo que están realizando. En este caso concreto el recorrido ha comenzado en la planta baja analizando todos los despachos al paso, subiendo a la primera planta, en el descansillo que hay un acceso al exterior, se ha tomado en ese momento unas muestras del exterior para continuar el recorrido por la segunda planta, incluyendo el análisis de dos laboratorios donde se está trabajando en bioquímica y se utilizan disolventes para limpieza de campanas extractoras como es habitual.

Los equipos con los que se cuentan son complementarios entre sí, ya que el DX4030 ha tenido un calibrado muy fino y puede comparar sus datos de CO<sub>2</sub> con el qtrak destinado a control de la calidad interior y también si fuera necesario se podrían realizar comprobaciones teóricas sobre la totalidad de los VOCs detectados totalizados.

En esta edificación, los usuarios en un día fresco como el que está siendo sujeto de estudio no tienen tendencia a ventilar de forma natural, siendo la climatizadora la responsable de los intercambios de aire, con una cota alta de renovaciones de aire, teniendo en cuenta que este aire aunque viene directamente del exterior ha sido tratado antes de entrar en las estancias de los usuarios.

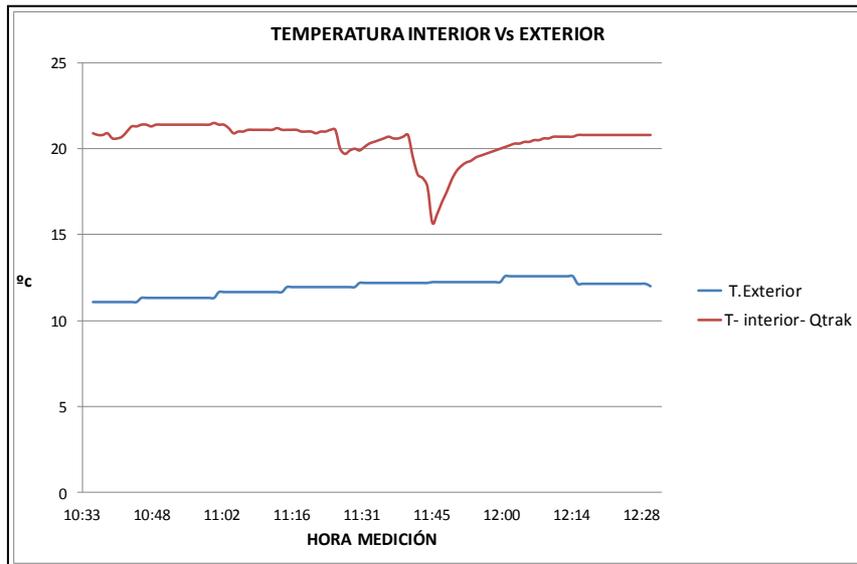


**Figura 92.** Datos matutinos de calidad del aire interior. (QTRAQ). ED70C-DdI Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

Al observar esta gráfica (Figura 92), con un fondo de escala estándar para poder dar una idea global de la calidad ambiental interior, no se distingue con claridad, que sobre las 11:45 h hay un ligero descenso en la contaminación de CO<sub>2</sub> y temperatura, incrementándose la humedad. Este cambio es debido a la salida al exterior por el acceso en el descansillo de la entreplanta.

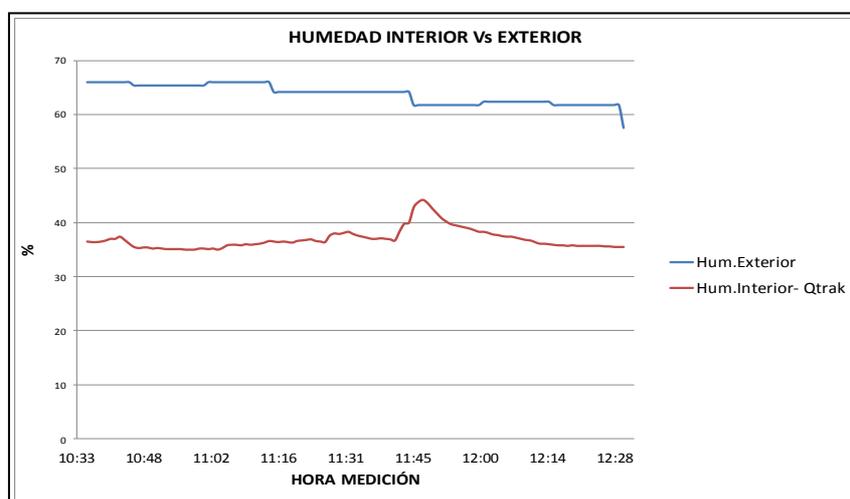
En cualquier caso, los valores son de una buena calidad de aire interior, una climatizadora funcionando y unos valores de confort óptimos, a pesar de que la humedad ambiental siempre que trabaja una climatizadora, desciende notablemente sobre el valor antes de ser tratado dicho aire.

En esta representación (Figura 93), se observa como la temperatura exterior es bastante regular, se incrementa un poco a medida que avanza la mañana, Esta representación (Figura 97) muestra perfectamente cómo en una situación real, los dos equipos (Figuras 95 y 96, para los equipos QTRAQ y DX4030, respectivamente) están trabajando a la par, con los relojes equiparados y la obtención de resultados además de tener la misma tendencia, tienen una coincidencia total en la linealidad; de esta experimentación se deduce como el mientras que la interior está a temperatura de consigna, que la climatizadora



**Figura 93.** Datos matutinos de temperatura interior vs. exterior. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

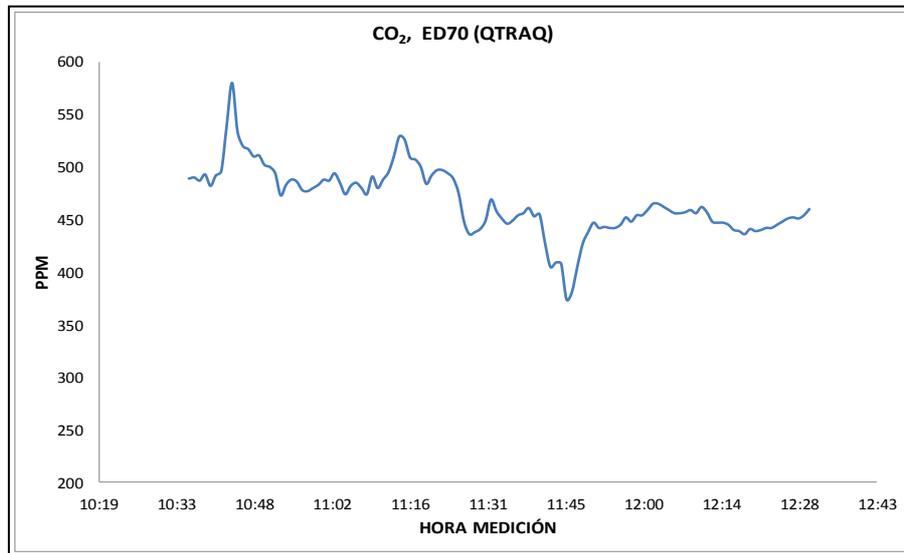
funcionando en unos valores de confort. El pico de brusco descenso corresponde como es de suponer al momento que se ha tomado valores en el descansillo como exterior, aunque como se observa, no ha llegado a igualar la temperatura con la del exterior, ya que al tomar la muestra tan cerca de la puerta (corredera automática) se ve influenciada por la temperatura interior.



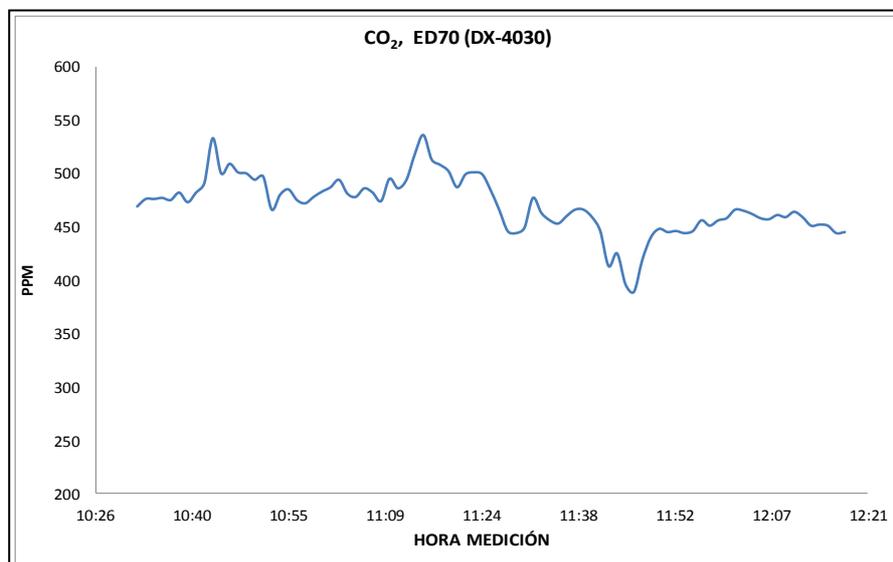
**Figura 94.** Datos matutinos de humedad interior vs. exterior. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

En esta ocasión (Figura 94) lo que se observa es exactamente el mismo caso que en la gráfica anterior (Figura 93), pero el efecto es el inverso. Si el sistema de climatización está encendido, al realizar el tratamiento del aire para calentarlo, pierde una considerable humedad y se mantiene estable ya que se han programado temperaturas de confort para toda la edificación. Igualmente la

observación en el momento del exterior está ese acercamiento a los valores tomados fuera, sin llegar a igualar estos valores, debido a que los sensores de la estación exterior están en la azotea y como se ha explicado anteriormente, la muestra se ha tomado demasiado cerca de una puerta corredera automática que da el acceso al interior.



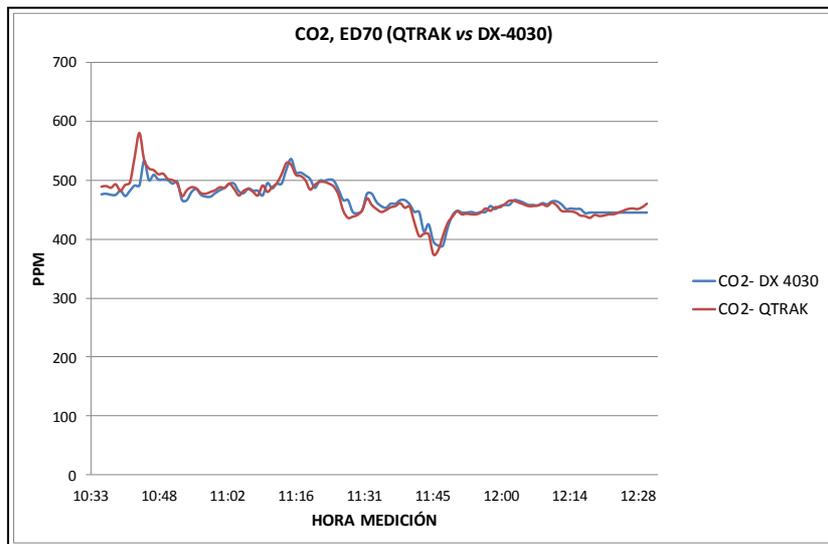
**Figura 95.** Datos matutinos de CO<sub>2</sub> (QTRAQ). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)



**Figura 96.** Datos matutinos de CO<sub>2</sub> (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010).

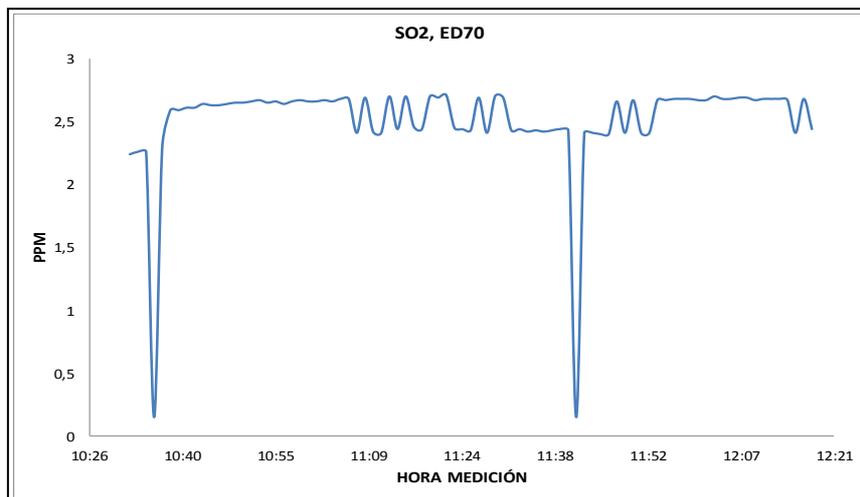
Esta representación (Figura 97) muestra perfectamente cómo en una situación real, los dos equipos (Figuras 95 y 96, para los equipos QTRAQ y DX4030, respectivamente) están trabajando a la par, con los relojes equiparados y la

obtención de resultados además de tener la misma tendencia, tienen una coincidencia total en la linealidad; de esta experimentación se deduce como el



**Figura 97.** Datos matutinos de CO<sub>2</sub> (QTRAK vs. DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010).

DX4030 bien calibrado (Figura 96), califica y cuantifica contaminantes dentro de un margen de error aceptable y en comparación, en este caso del CO<sub>2</sub>, con un equipo acreditado en medidas de calidad de aire para interiores, es eficiente.

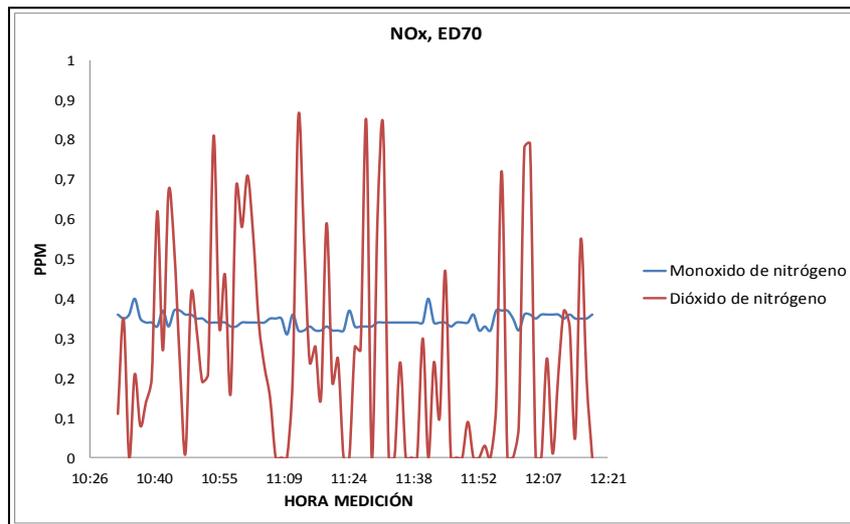


**Figura 98.** Datos matutinos de SO<sub>2</sub>. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

También es destacable, que en el momento de tomar la muestra de exterior, el contaminante desciende por debajo de la barrera de 400 ppm, para Madrid sería una contaminación ambiental muy baja, que dada la ubicación exacta de esta edificación en Ciudad Universitaria, con amplias zonas verdes colindantes,

es lógico que se produzca ese descenso y hace posible que dicha edificación pueda limpiarse mejor que en casi cualquier otro punto.

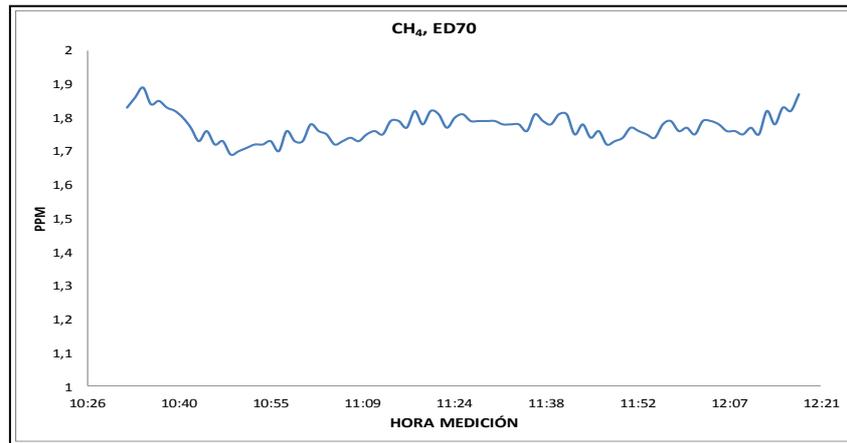
En este caso (Figura 98), se observa como este contaminante ( $\text{SO}_2$ ) se mantiene estable a lo largo de todo el interior de la edificación, es un nivel de contaminación muy bajo, pero continuo, solo en dos momentos puntuales ha caído a casi cero, una de ellas en la toma de muestra en el exterior.



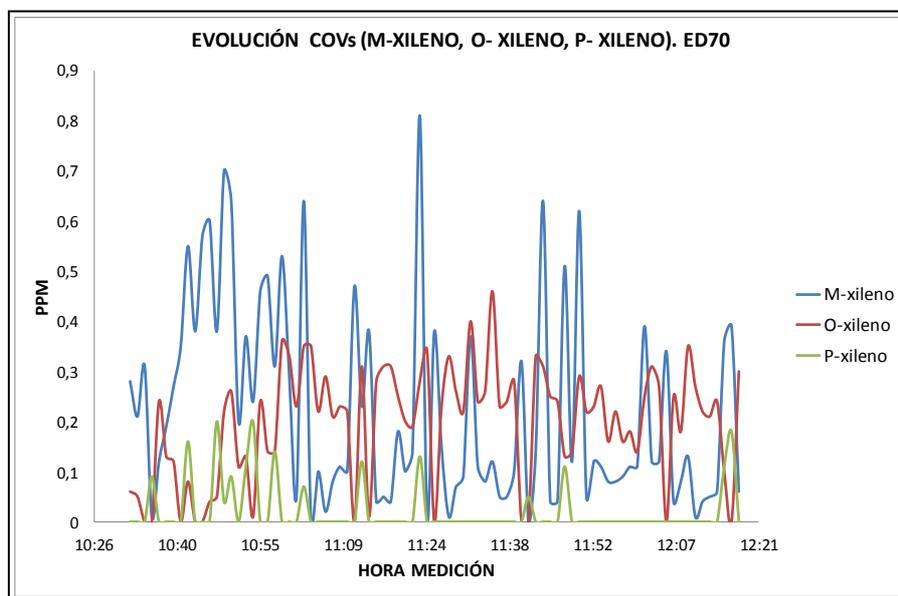
**Figura 99.** Datos matutinos de  $\text{NO}_x$ . ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010).

En la figura anterior (Figura 99) se puede observar una vez más, cómo no hay mezcla entre la diferenciación de contaminantes a pesar de que sean muy similares entre ellos. Se observa que dentro de una contaminación máxima no superior a una ppm donde el dióxido no tiene presencia en muchos momentos, pero el monóxido mantiene su baja, pero continua contaminación a lo largo de toda la experimentación, tanto dentro como fuera de la edificación.

En la representación del metano (figura 100), se observa cómo esta contaminación es continua a lo largo de todo el proceso de muestreo en la edificación, sin embargo no se observa variación alguna representativa de un descenso en la toma de muestras en el exterior, de lo que se deduce que dicha contaminación proviene del exterior y que el sistema de tratamiento de aire no interfiere en esta contaminación.



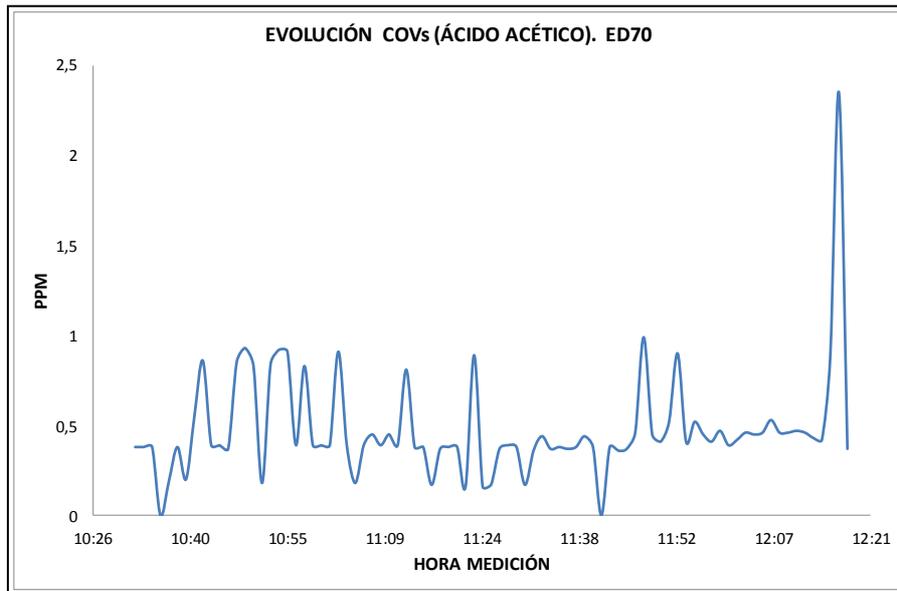
**Figura 100.** Datos matutinos de CH<sub>4</sub>. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)



**Figura 101.** Datos matutinos de xilenos. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

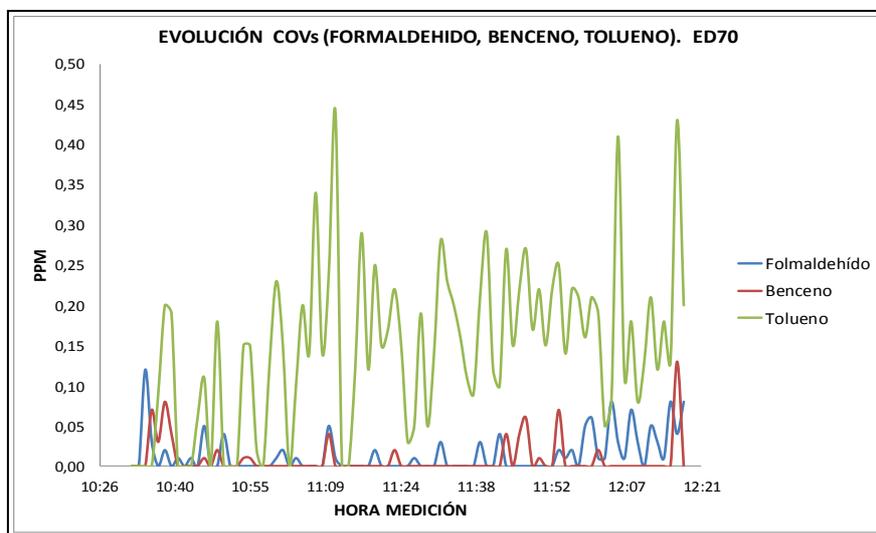
En la evolución de este grupo de contaminantes (Figura 101), habría dos observaciones destacables, fundamentalmente que la mezcla de los mismos no interfiere entre ellos, siendo una evolución totalmente independiente entre ellos y aunque no tan relevante a la hora de la resolución de datos, evaluando la concentración de este tipo de contaminante en la edificación, se puede ver cómo queda todo dentro de un fondo de escala inferior a una ppm.

El ácido acético en esta edificación, sería esperable que no se encontrara en la planta baja, tal y como se observa (Figura 102), mantiene una concentración residual muy baja pero detectable, sin embargo la toma de muestras finaliza en



**Figura 102.** Datos matutinos de ácido acético. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

el laboratorio de la planta primera como se ha descrito anteriormente, es en ese momento donde se observa un incremento notable (Figura 102), pero incluso en ese caso la máxima no supera las tres ppm, valor que define como un ambiente saludable para un laboratorio en lo que a este contaminante se refiere.



**Figura 103.** Datos matutinos de formaldehído, benceno y tolueno. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

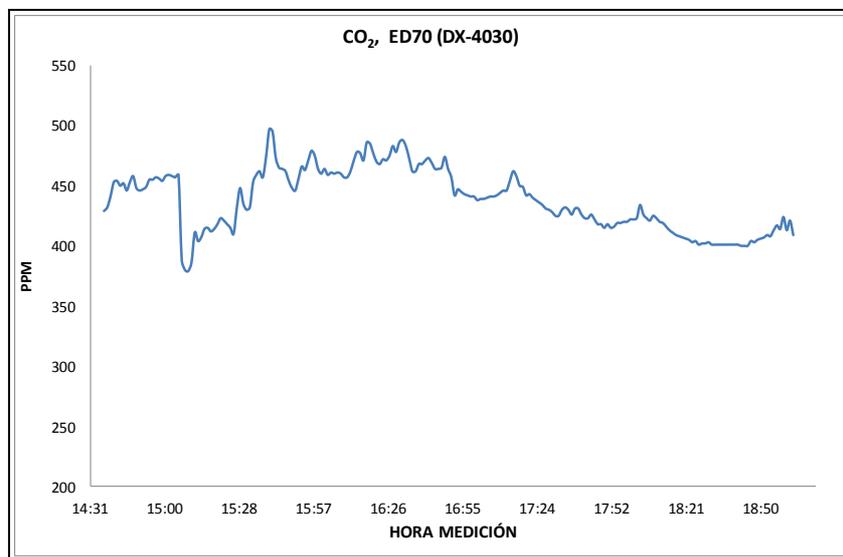
En esta representación (Figura 103), lo que se observa es que apenas hay presencia de ninguno de estos contaminantes, sin embargo, otro hecho destacable es que tolueno y benceno son totalmente independientes a la hora de analizar su concentración, se observa como cuando uno va en aumento, el

otro ofrece la misma respuesta, consecuentemente se afirma que no hay equivoco en la diferenciación de estos contaminantes y que cuando hay una zona de mayor contaminación se ven afectados ambos parámetros.

## TARDE.

Aprovechando que se ha movilizadado la mayoría del equipamiento a esta edificación para esta toma de muestras, el calibrado realizado ha dado unos resultados en los valores obtenidos muy precisos, se ha procedido a realizar un muestreo completo por toda la edificación, entrando en aquellas estancias de acceso permitido.

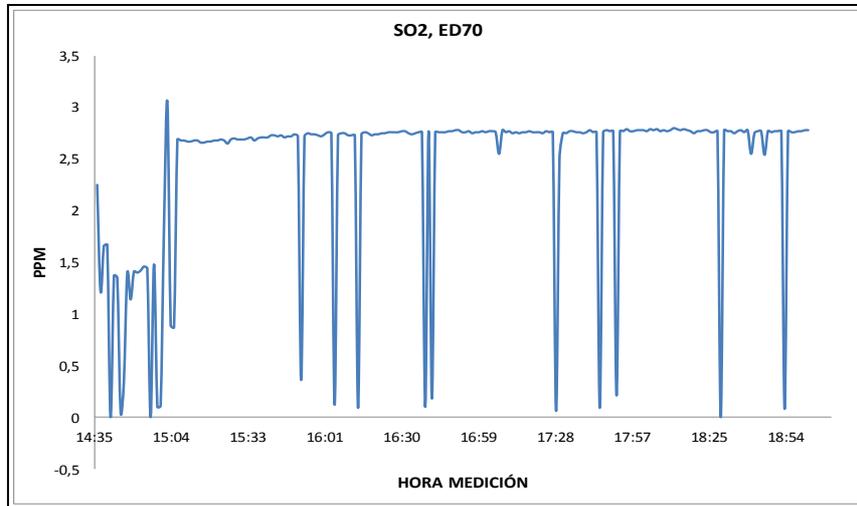
Los equipos de muestreo han sido encendidos en el primer despacho de la planta baja, se ha comenzado el muestreo en el exterior, saliendo y entrando posteriormente por el acceso principal para ir recorriendo toda la planta baja y dedicando al menos cinco minutos a cada zona a muestrear, cada despacho, parte del pasillo, salas de reuniones y todo lo que encuentra al paso. Posteriormente se asciende a la planta primera, sin entrar en los laboratorios y lo mismo para la planta segunda. Finalmente se desciende al sótano donde se ubica la sala de máquinas y que está abierta al exterior. A medida que ha avanzado la tarde se ha nublado y ha habido ligeras precipitaciones, aunque la temperatura se ha seguido manteniendo estable.



**Figura 104.**Datos vespertinos de CO<sub>2</sub> (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

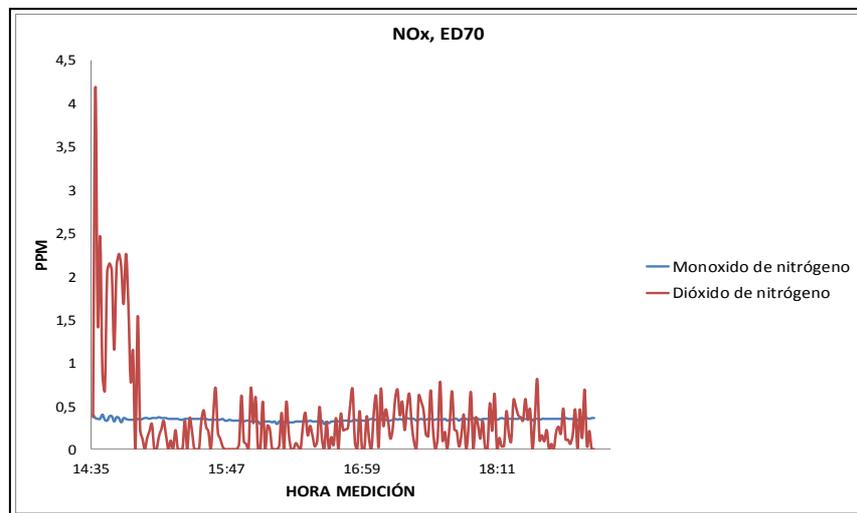
En lo que respecta al CO<sub>2</sub> (Figura 104), se observa una concentración media en todas las plantas de la edificación muy similares, las variaciones del mínimo es debida al muestreo en la zona exterior, luego hay un gran incremento que coincide con la hora de salida de la mayor parte de los trabajadores, que dejan sus vehículos en las inmediaciones de la edificación y finalmente se ve en la

sala de máquinas abierta al exterior, como la concentración es inferior a la observada en la edificación, pero no tan con unos valores tan bajos como en el exterior.



**Figura 105.** Datos vespertinos de SO<sub>2</sub> (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

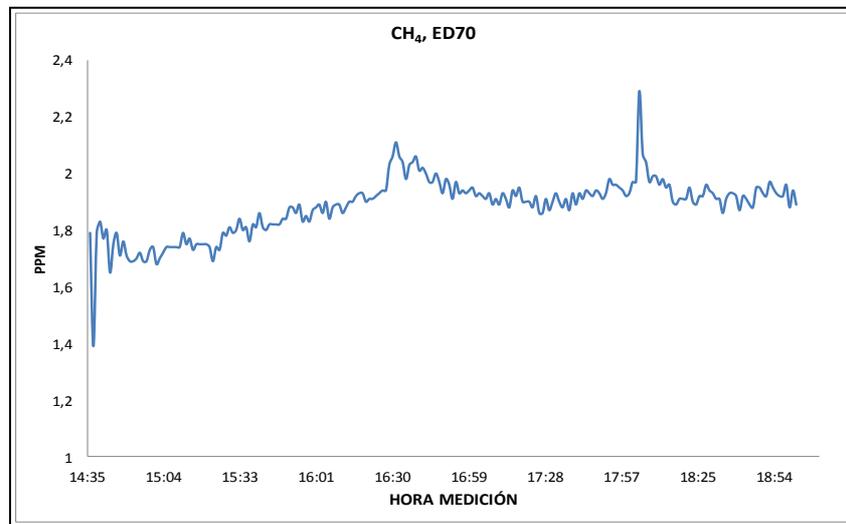
El SO<sub>2</sub> (Figura 105), ha mantenido esa misma linealidad observada en el contaminante exterior, con la salvedad que esta es un concentración muy baja, pero observando los incrementos y descensos, se suceden acordemente con la zona muestreada y la evolución observada del CO<sub>2</sub>.



**Figura 106.** Datos vespertinos de NO<sub>x</sub> (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

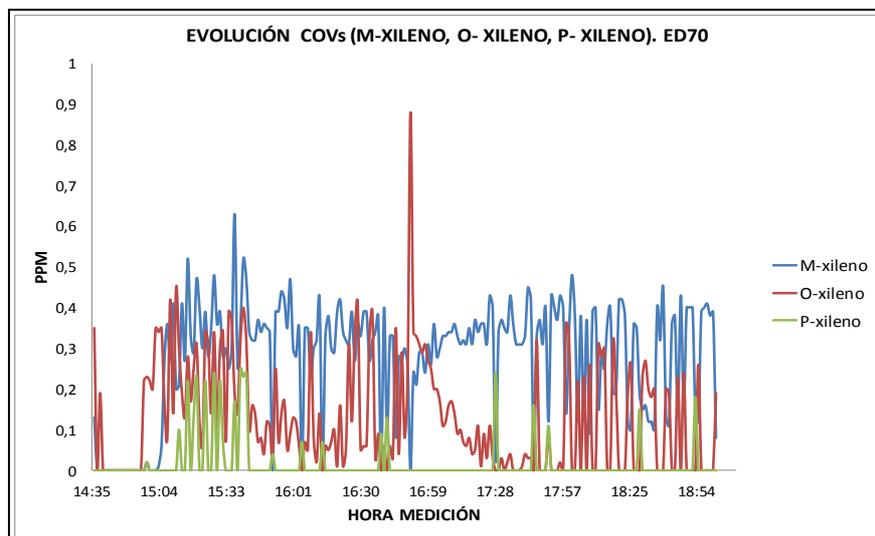
En lo que se refiere al monóxido y dióxido de nitrógeno (Figura 106), es destacable señalar en este caso como el despacho en el que han estado los equipos calibrándose y ha habido una alta concentración de actividad laboral, se observa un aumento del dióxido mientras que el monóxido se ha mantenido

estable durante toda la medida, no se ha visto afectado en ningún momento, de lo que se deduce que esa contaminación es de carácter ambiental.



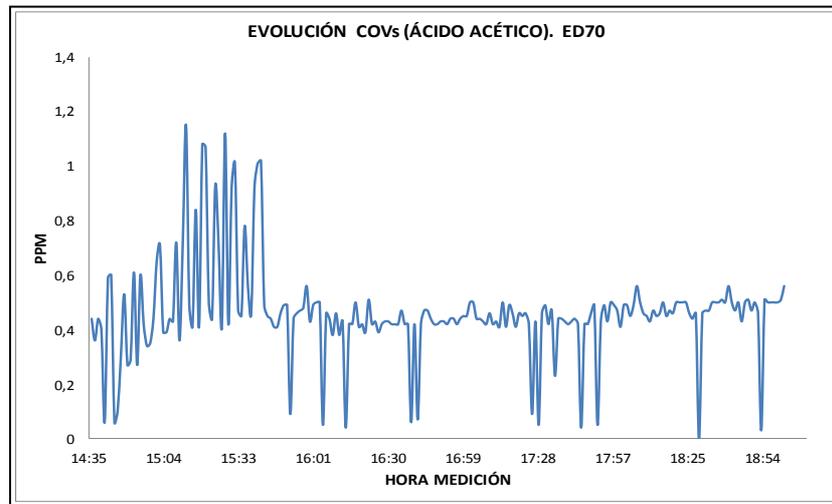
**Figura 107.** Datos vespertinos de CH<sub>4</sub> (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

Teniendo en cuenta que en ningún momento se ha observado un valor alto de metano (Figura 107), sí es notable como en el despacho en el que se ha trabajado durante todo el día el metano marca un mínimo, pero tanto en la segunda planta de laboratorios, como en la sala de máquinas se ha visto un ligero incremento de este contaminante.



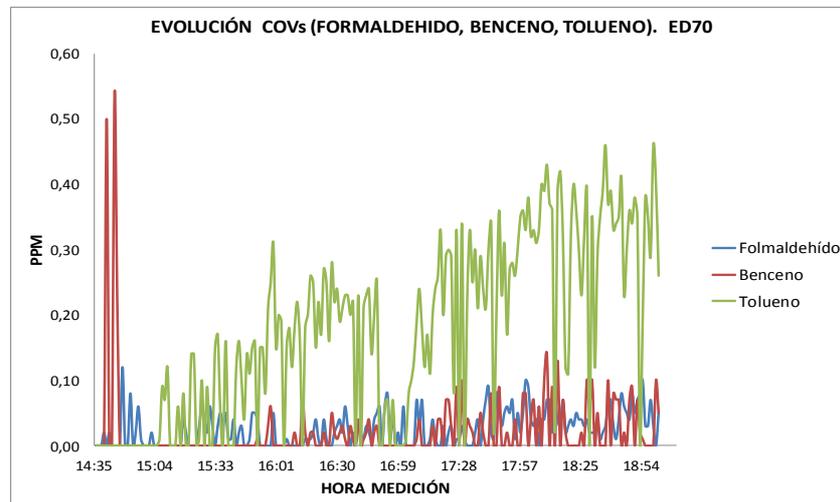
**Figura 108.** Datos vespertinos de xilenos(DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)  
En lo que respecta a la figura 108, estamos ante la misma observación que en la mañana, pues el contaminante de tipo xileno en ninguna de sus formas se ha visto afectado por la ubicación ni tampoco se ha visto una concentración notable, lo que sí sigue siendo destacable, es que la concentración de cada

uno es independiente y no hay compensación alguna entre ello, lo que verifica que la analítica realizada mantiene la coherencia propia de este muestreo.



**Figura 109.** Datos vespertinos de ácido acético(DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010).

El ácido acético en el exterior es casi nulo (Figura 109) como debe esperarse, hay un incremento en la zona de laboratorios de la primera planta, al igual que se ha observado en la mañana y el resto del muestreo ha sido entre cero y menor de media ppm, lo que se podría considerar casi nulo, ya que con otro sistema de medida no sería detectable.



**Figura 110.** Datos vespertinos de formaldehído, benceno y tolueno (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (24/02/2010)

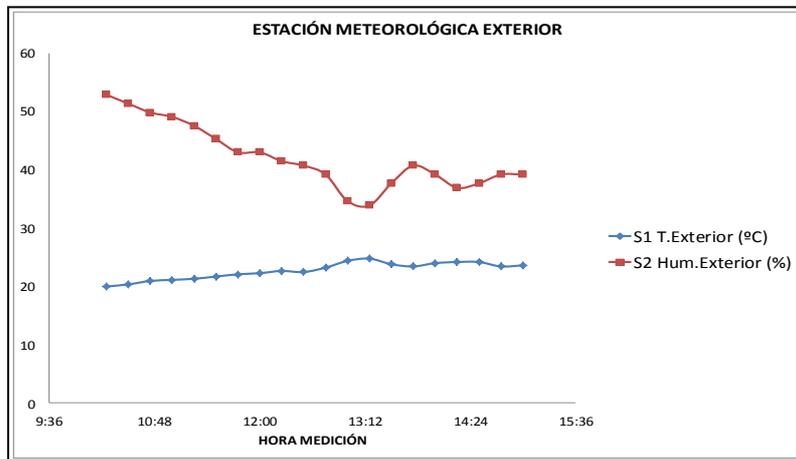
En lo que se refiere a la evolución del COVs, y tal y como se observa en el gráfico correspondiente (Figura 110), podemos interpretar cómo en el despacho donde se ha mantenido en una ocupación máxima, con los equipos funcionando y calibrándose, se observan los valores más altos de todo el

muestreo, no es alarmante en ningún caso, pero si es destacable como se ha incrementado la concentración de benceno.

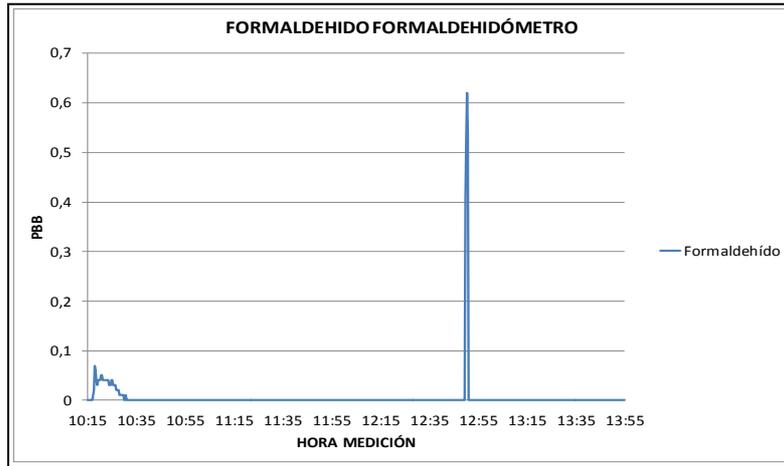
Por otra parte en lo que al tolueno se refiere, se observa un ligero aumento en los laboratorios y mayor incluso en la sala de máquinas, también es una observación que va acorde con la lógica y que tampoco es un valor de concentración alarmante.

**31/05/2011 ED70**

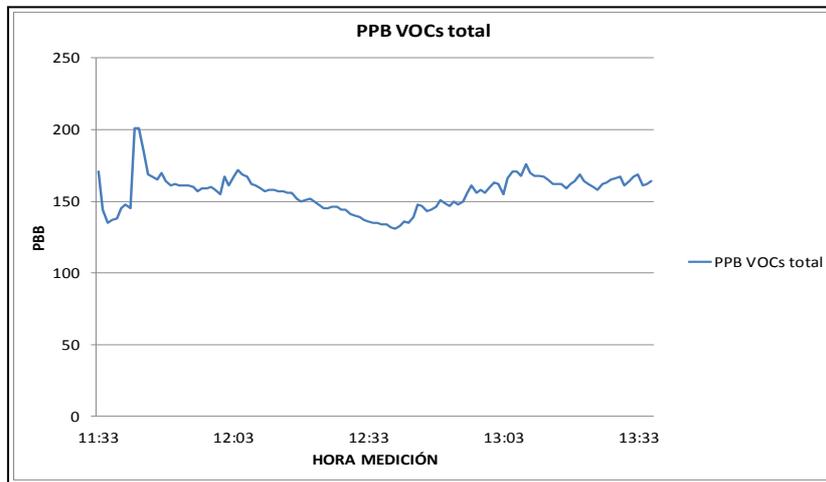
En este último día de mayo de 2011 en Madrid, concretamente en Ciudad Universitaria, la temperatura exterior y la humedad (Figura 111), son lo más cercanos a confort posibles, de ahí que se decidiera hacer el muestreo en esta situación ideal de clima, para no tener que utilizar el sistema de climatización de aire, aunque está la opción de utilizarlo sólo para ventilación, no es una alternativa óptima desde el punto de vista energético ni ambiental.



**Figura 111.** Datos estación meteorológica exterior. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)



**Figura 112.** Evolución formaldehído. Formaldehidómetro. ED70 C-DdI Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)



**Figura 113.** Contaminación totalizada durante el periodo continuo en torno a mediodía. ED70 C-DdI Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

Aunque más adelante se hable del recorrido y los equipos utilizados de una forma más específica, a nivel general los niveles de contaminación de la edificación (Figuras 112 y 113), se puede observar que son extremadamente bajos, que la ventilación natural con la cuenta gracias a la arquitectura pasiva utilizada hace que las renovaciones de aire sean muy eficaces.

#### EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

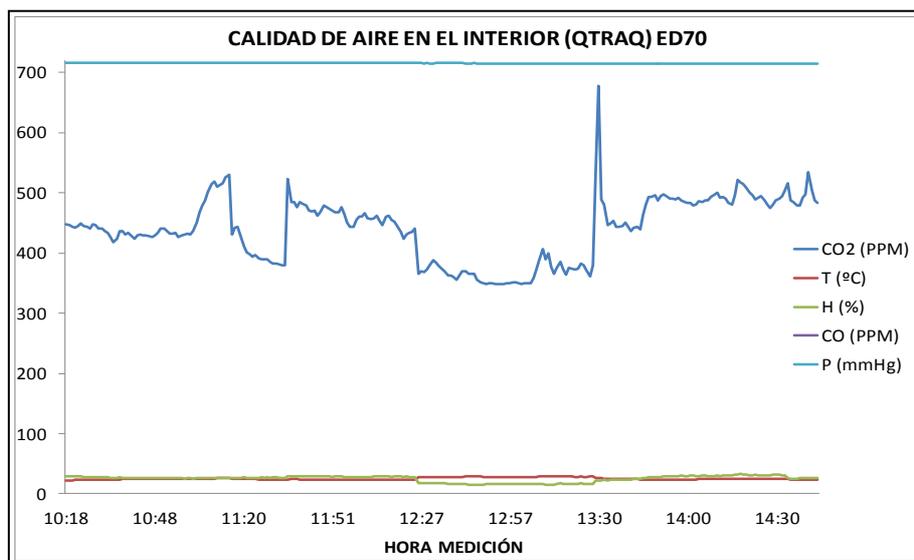
El recorrido que se ha realizado en esta ocasión ha sido el más extenso y completo posible; se ha comenzado por la planta baja durante aproximadamente una hora, se ha ascendido a la primera planta por la escalera durante algo más de media hora, se ha continuado ascendiendo por la

escalera hasta la segunda planta, durante un arco de otra media hora accediendo a las estancias y laboratorios permitidos, donde no había actividad de riesgo y desde ahí se ha accedido a la azotea, hasta la una de medio día y habiendo medido durante una media hora, finalmente se desciende a la sala de calderas hasta fin de la experimentación.

Durante este largo recorrido, los equipos no han tenido batería suficiente para medir todo el periodo en continuo, pero la toma de datos y obtención de resultados ha definido esta experimentación como modelo, tanto para el recorrido completo como para el muestreo de esta edificación. Los equipos que se han utilizado son el DX4030 durante todo el recorrido completo a excepción de los momentos puntuales donde o bien por saturación o falta de energía ha dejado unos momentos bien diferenciados sin resultados, el formaldehidrómetro hasta las dos de la tarde, el PPB sabiendo las limitaciones de su batería ha estado en funcionamiento continuado desde antes de media mañana hasta casi las dos y como el qtraq se ha mantenido en continuo hasta pasadas las dos de la tarde.

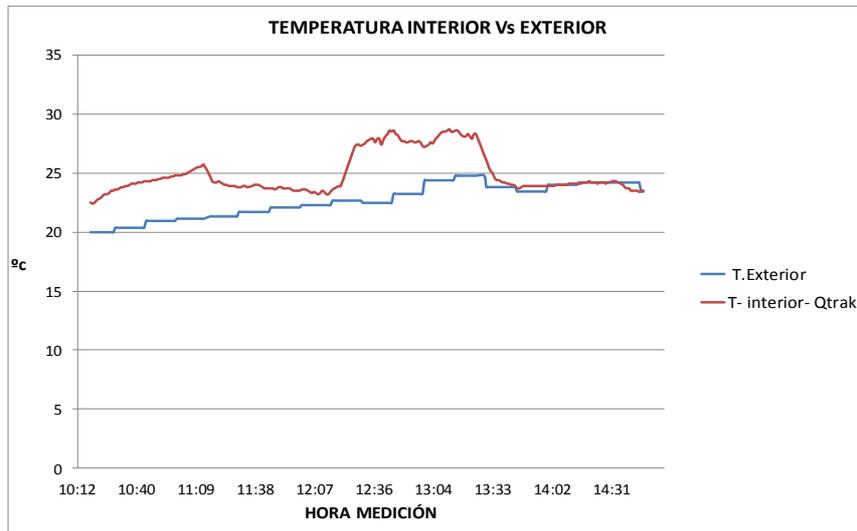
Esta completa batería de medidas ha servido para poder realizar una evaluación completa en condiciones reales de uso de toda la edificación sin utilizar la climatizadora y aprovechando la gran gama de equipamiento destinado a la calidad de aire interior en lo que a VOCs se refiere.

En el recorrido realizado, se observa como hay grandes variaciones tanto de humedad como de temperatura en función de la ubicación (Figura 114), ya que al no estar en funcionamiento la climatizadora lo que se ha evaluado es el hecho de



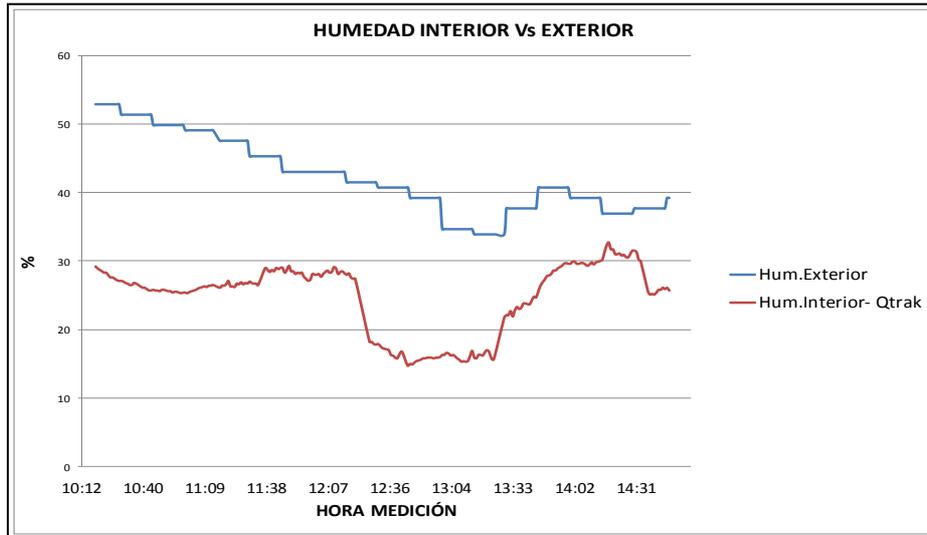
**Figura 114.** Datos de calidad del aire interior. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

cómo se renueva el aire de una manera natural, a este hecho basado en la arquitectura pasiva de la edificación hay que sumarle la complejidad de que esta edificación, es una continuación de un análogo convencional construido en los años setenta, con las diferencias sustanciales que ello conlleva.



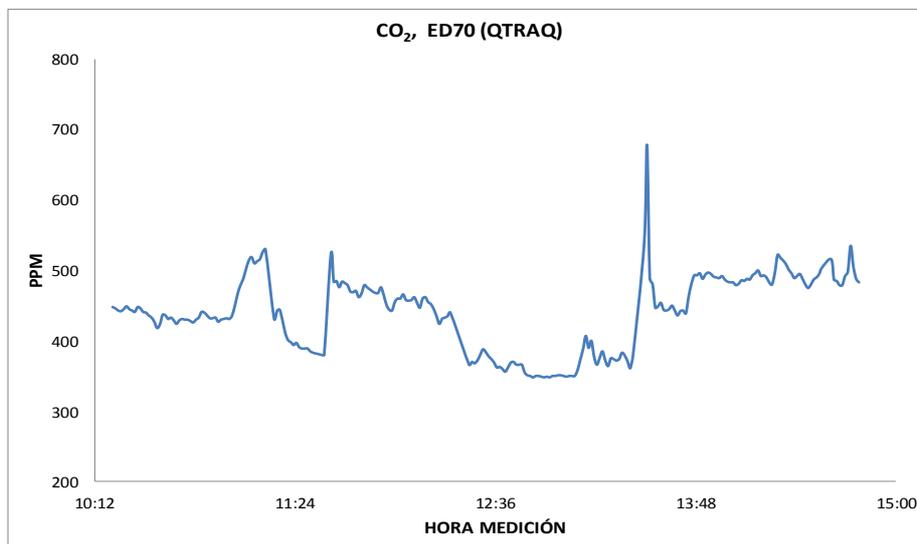
**Figura 115.** Evolución de la temperatura interior vs. exterior. ED70C-DdI Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

La representación recogida en la figura 115, se corresponde con uno de los pocos ejemplos en los que teniendo una temperatura de confort muy aceptable en el interior, sería incluso más moderada la exterior. Es lógico que en el interior sea ligeramente superior a la de exterior ya que la ocupación es casi máxima y hay equipos en funcionamiento, así como usuarios utilizándolos. El rango en el que asciende ligeramente por encima la temperatura del interior, pasado el mediodía, corresponde con el muestreo en la azotea donde la radiación solar incidente aunque no se tengan medidas, toma una fuerza notable.



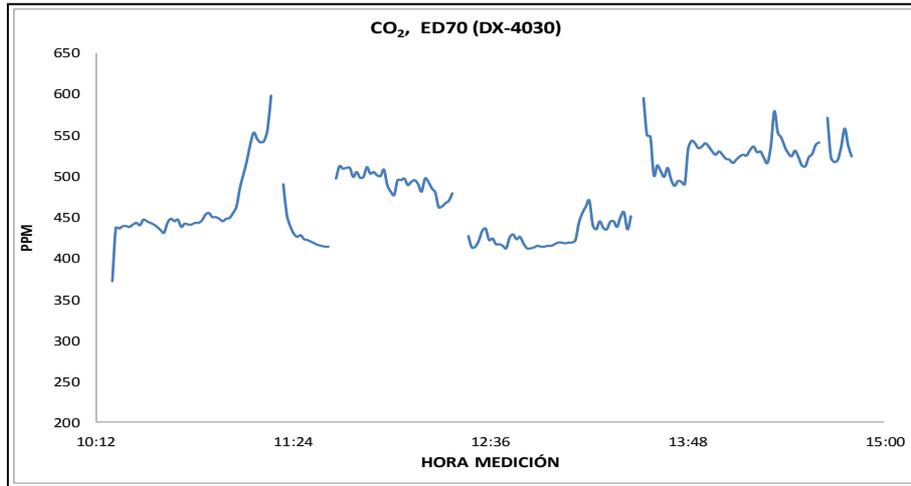
**Figura 116.** Evolución de la humedad interior vs. exterior. ED70 C-DdI Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

Como se ha observado repetidamente a lo largo de todo el trabajo de investigación, las temperaturas y humedades van relacionadas en el sentido que si uno aumenta, la repercusión en el otro es la contraria lógicamente. Igualmente se observa (Figura 116) como en el tiempo que transcurre en la azotea, a pesar de estar en el exterior, esa radiación afecta en la misma medida al descenso notable de la humedad.

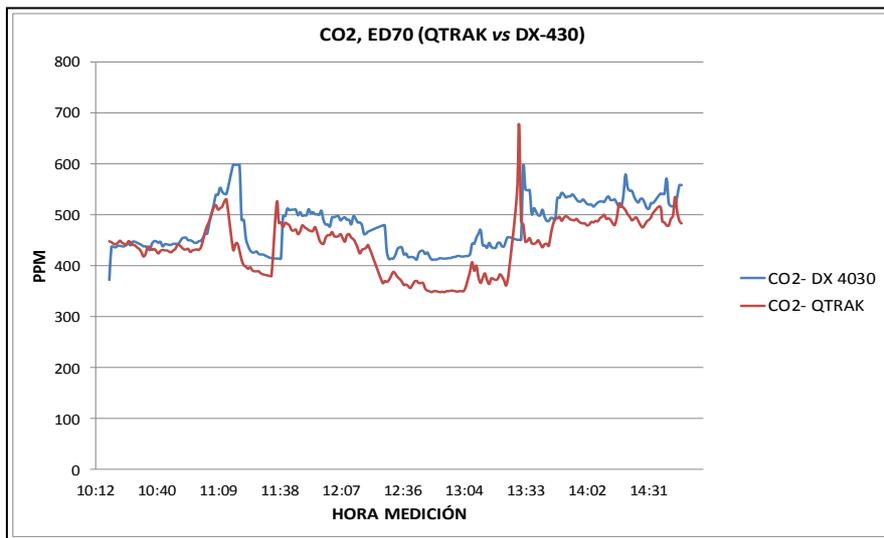


**Figura 117.** Evolución de CO<sub>2</sub> (QTRAQ). ED70C-DdI Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

En las figuras 118 y 119, los intervalos no graficados, corresponden con los momentos en los que no se han obtenido datos debido como se ha explicado anteriormente por falta de batería o saturación del equipo.

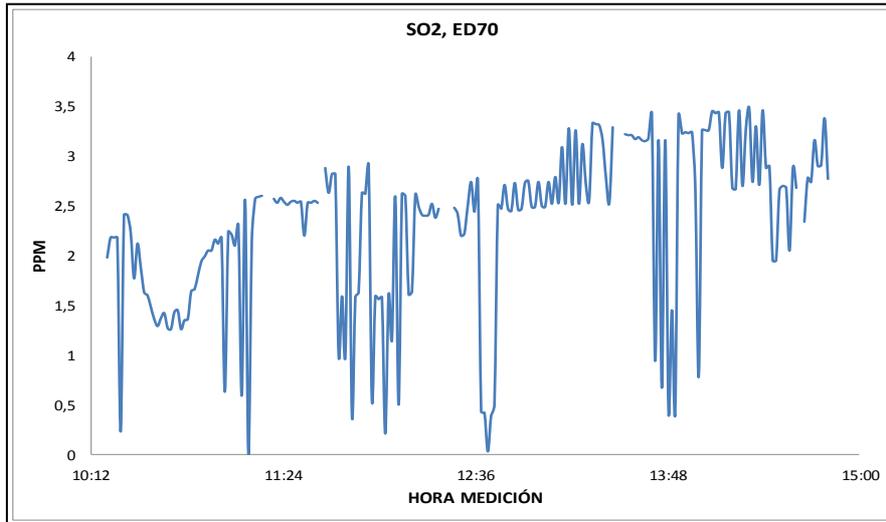


**Figura 118.** Evolución de CO<sub>2</sub> (DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)



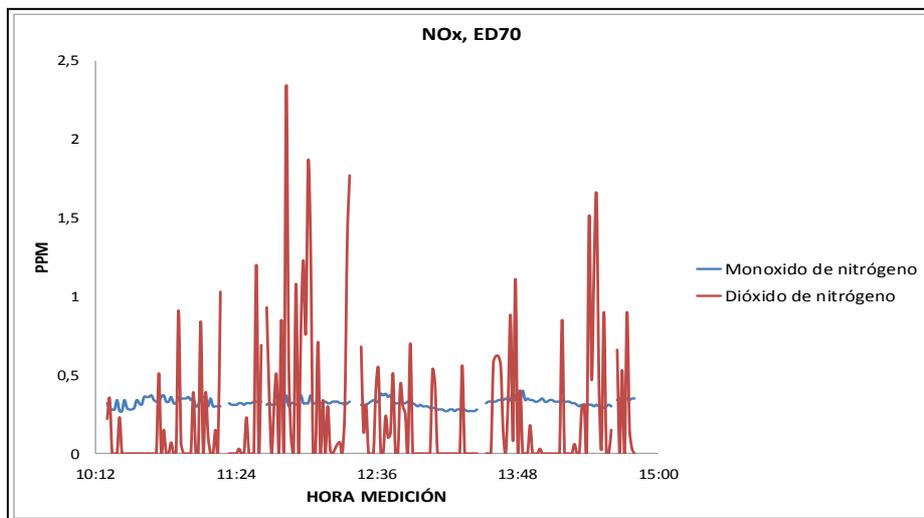
**Figura 119.** Evolución de CO<sub>2</sub> (QTRAK vs. DX-4030). ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

En el recorrido realizado, se observa como en la planta baja tiene un nivel de concentración bajo, en la primera se incrementa, en la segunda ya hay un descenso importante (Figura 119), debido a los filtros de aire que se utilizan en los laboratorios, pero donde es menor es la azotea. Finalmente en la sala de máquinas se observa un pico a la entrada y a pesar de estar en estar abierta al exterior, se refleja el ligero incremento que producen las máquinas trabajando en continuo.



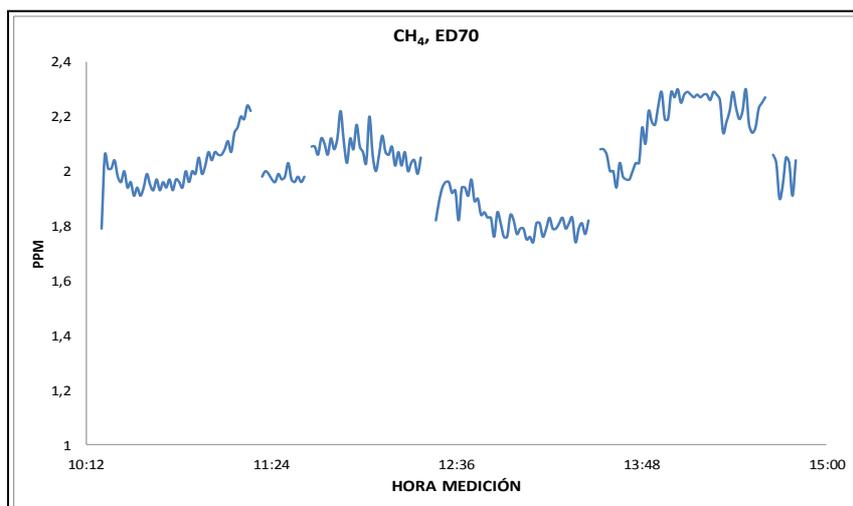
**Figura 120.** Evolución de SO<sub>2</sub>. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

La cantidad de contaminante analizado (SO<sub>2</sub>) en este caso, no es dependiente de la ubicación del punto de muestreo, no lo tampoco derivado de la contaminación ambiental, es un reflejo de la muy baja concentración de contaminación encontrada en este día de medidas (Figura 120).



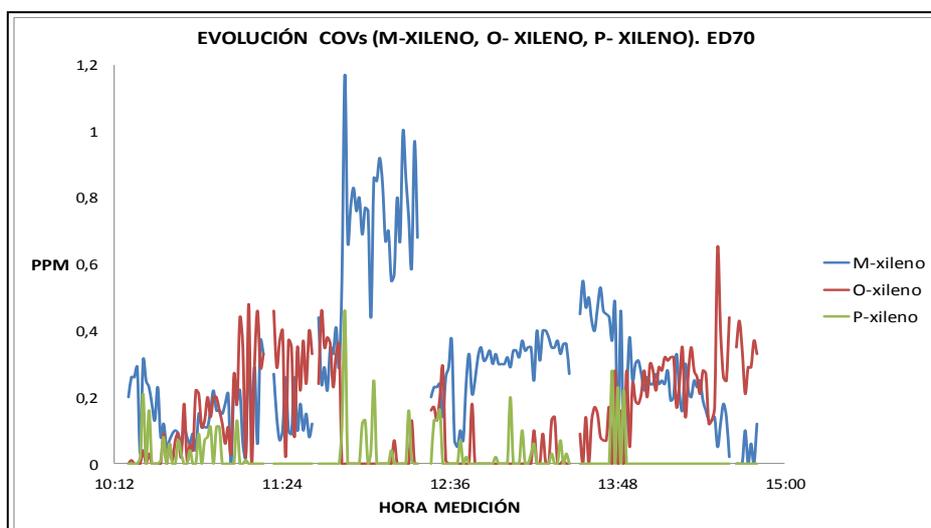
**Figura 121.** Evolución de NO<sub>x</sub>. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011).

En la gráfica del monóxido de nitrógeno (Figura 121), se observa como una línea base de muy baja concentración pero continuada a lo largo de todo el muestreo, pero sin embargo el dióxido sí se ha visto afectado por la ubicación del momento, siendo la planta segunda el punto de mayor detección posiblemente potenciado por el uso de las campanas de laboratorio y experimentación con el uso de gases.



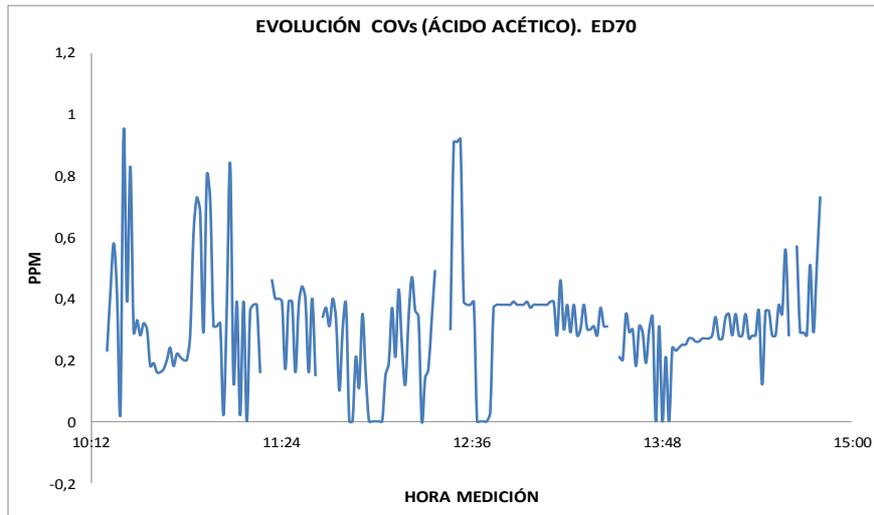
**Figura 122.** Evolución de CH<sub>4</sub>. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

El metano se mantiene como un continuo a lo largo del recorrido completo (Figura 122). Esto indica que esta contaminación es derivada de la contaminación ambiental de la zona, haciendo la salvedad que en números absolutos sin tener en cuenta la tendencia es tan bajo, como que para otros equipos de detección hubiera sido despreciable.



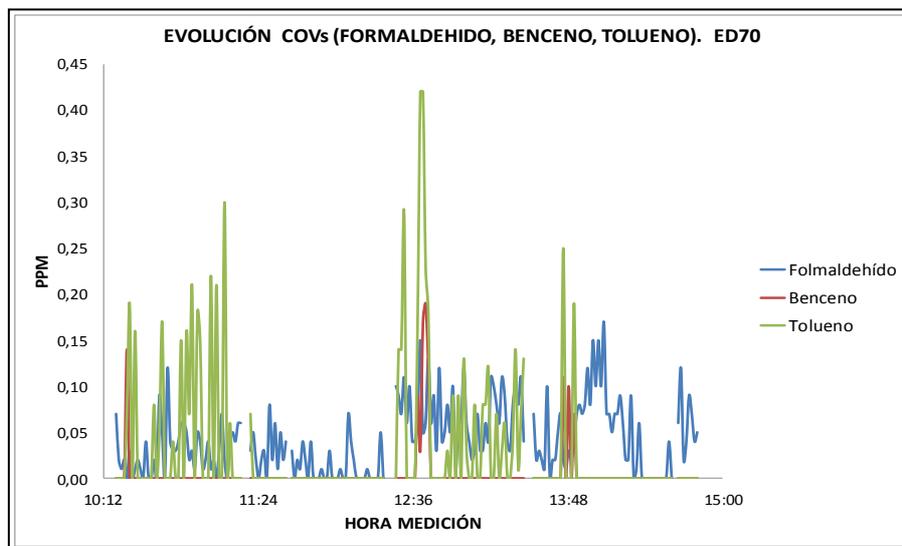
**Figura 123.** Evolución de xilenos. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

En la evolución de los xilenos (Figura 123), se ve como predomina la forma meta, pero que al mismo tiempo no interviene con el resto de contaminación del mismo tipo encontrada. Siendo la tendencia que se observa, en las zonas de mayor incremento es algo general, no corresponde con una mezcla de gases que mantendrían un equilibrio entre todas.



**Figura 124.** Evolución del ácido acético. ED70 C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

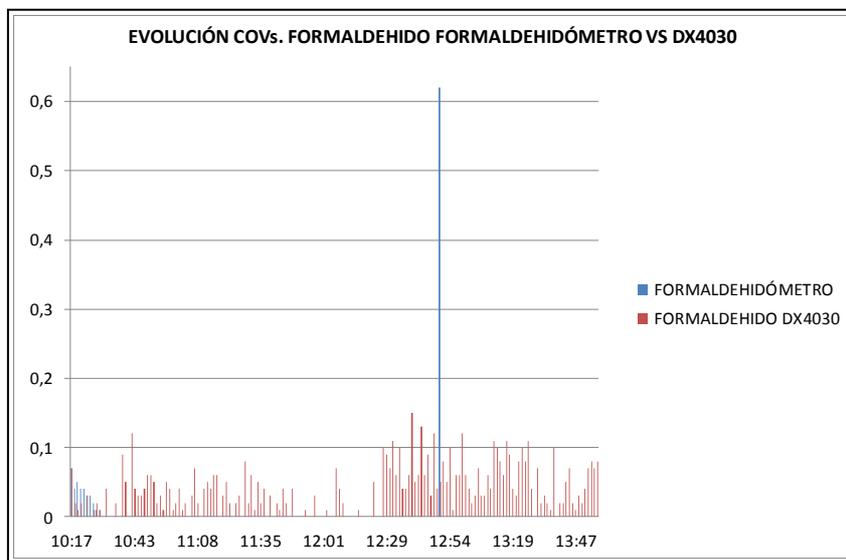
El caso del ácido acético (Figura 124), no se espera encontrar en este tipo de edificaciones, normalmente los valores de mayor concentración en este tipo de experimentación provienen de residuos orgánicos y de laboratorio, pero no se supera una ppm durante todo el recorrido.



**Figura 125.** Evolución de formaldehído, benceno y tolueno. ED70C-Ddl Arfrisol. Madrid. (31/05/2011).

En lo que respecta a la evolución de COVs (Figura 125) Tomando el benceno como un tipo de contaminante que no se espera ni se desea encontrar en ningún caso y menos en una edificación bioclimática, aunque en este caso se observe presencia en momentos puntuales no representa ningún tipo de riesgo; al mismo tiempo el tolueno se observa durante todo el proceso, este precursor

tiene más fuentes de contaminantes, pero en ningún momento ha supuesto un valor de contaminación digno de evaluación independiente.



**Figura 126.** Evolución de formaldehído (formaldehidómetro vs. DX4030). ED70C-DdI Arfrisol. Madrid. (31/05/2011)

El formaldehído (Figura 126), durante todo el día ha demostrado una ausencia total, el DX4030 está obteniendo presencia a lo largo de todo el día pero un valor tan bajo que queda por debajo del límite inferior de detección del equipo y el equipo específico de detección, en el momento de entrada en la sala de máquinas, ha detectado una ligera intensidad en un momento puntual.

## 5.5. ESCENARIO C-DdI SP6-CEDER (CIEMAT- SORIA).

### 5.5.1. TOMA DE MUESTRAS.

En esta edificación la toma de muestras habitualmente se realiza entrando por la zona denominada “zona relax” destinada a comedor y cafetería de los trabajadores, siguiendo hacia la derecha por los despachos de los técnicos hasta llegar al fondo donde se encuentra la sala de reuniones habiendo pasado por todas las estancias de la planta baja por orden de llegada. En este momento subimos a la planta primera y hacemos el recorrido inverso al realizado anteriormente; para tomar muestras de la contaminación exterior, en función de la climatología del día, se puede subir desde ahí a la azotea de la edificación, o salir por donde hemos entrado ya que la pérgola protege ligeramente de la lluvia a los equipos que se estén utilizando. Este recorrido se estima en menos de dos horas de toma de muestras y análisis de resultados.

Los aparatos referencian sus resultados en tiempos similares, pero como no se utilizan los mismos equipos siempre en cada día de medida y estos son muy diferentes como se explica en el apartado de Instrumentación, se analiza en una primera instancia su evolución temporal dentro del periodo de medida realizado, de esta manera se observa gráficamente las posibles diferencias y cuando ha sido necesario un análisis exhaustivo de los resultados para poder determinar lo sucedido en estancias concretas, se han utilizado herramientas matemáticas para ajustar los tiempos y poder observar los resultados sincronizados en el tiempo.

### **CEDER- 13-08-2009- MAÑANA**

Este es un día verano típico de la zona, las temperaturas son moderadamente altas y se puede sentir una ligera brisa fresca. El enclave de la edificación hace que no sea posible a priori que se lleguen a temperaturas extremadamente calurosas.

#### **EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.**

Este es un día de medidas experimentales en el que se están probando las instalaciones de los sensores y los nuevos equipos de medida con que se cuentan en este momento. Ya se han ensayado en laboratorio y en este día se comienzan a realizar muestreos y su posterior análisis en la edificación destino, en este caso CEDER de Soria.

A pesar de que la garita meteorológica de esta edificación ya está instalada, tomando datos y siendo almacenados en el sistema de control de las instalaciones, algún error del sistema de almacenamiento de datos o de la aplicación de control ha sucedido en estos días, ya que aunque se han podido generar los archivos, dichos archivos se han grabado en blanco.

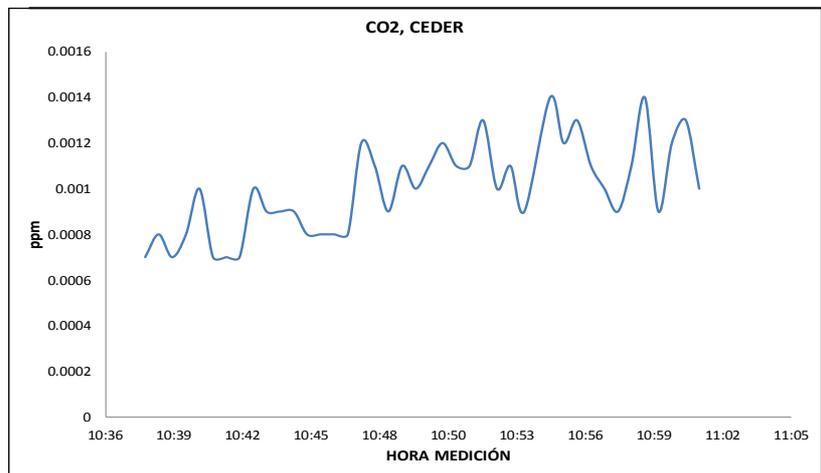
En estos momentos no se cuenta con el equipo de IAQ, teniendo en cuenta que no se han adquirido los datos meteorológicos del día, nos encontramos en un día de medida de verano en el que los datos ambientales de la zona no se han podido valorar.

En cualquier caso, el fundamento principal de realizar una analítica del interior de la edificación en estos días, es verificar que el equipo DX4030 está operativo y en correcto funcionamiento, ya que en estos momentos ya se ha conseguido realizar evaluación de la contaminación en laboratorio y es el momento de ensayarlo en una experimentación real.

Para realizar la calibración del equipo, se ha dejado en las instalaciones de CEDER durante toda una noche, posteriormente en esta mañana de verano, se

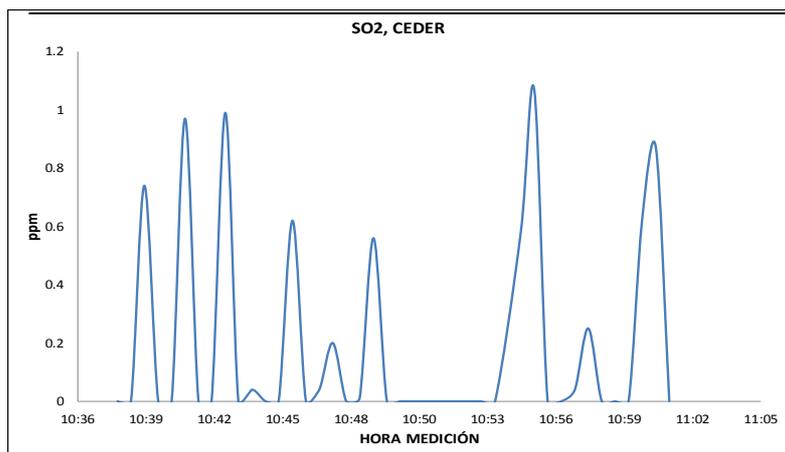
ha realizado la línea base del DX4030 con la sonda del propio equipo instalada, hasta la obtención de una gráfica semejante a la recomendada por fábrica.

Dado que el equipo está en un despacho de la planta uno, en concreto el despacho de “archivo” es desde aquí, desde donde se comienzan a realizar los muestres, posteriormente se cruza al despacho de los técnicos, se vuelve por el pasillo pasando por el resto de despachos, incluyendo el de dirección para llegar a muestrear en la sala de reuniones y bajar de planta para realizar el recorrido inverso, llegando hasta la cocina y saliendo desde ahí al exterior. Finalmente se entra de nuevo en la edificación, tomando el ascensor se sube a la planta primera, por las escaleras se llega el acceso a la azotea donde pasado un tiempo prudencial, se desciende a la primera planta para muestrear en los baños y dar por concluida esta toma de muestras.



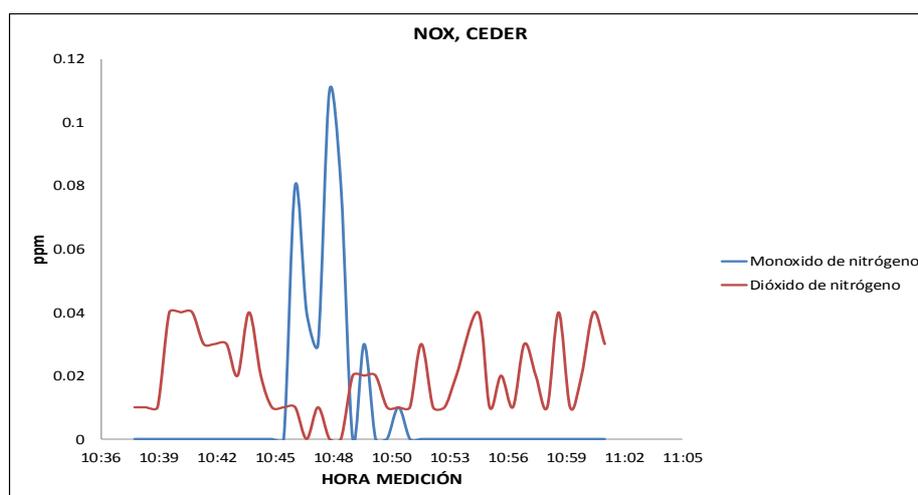
**Figura 127.** Evolución matutina del CO<sub>2</sub>. CEDER. Soria. (13/08/2009).

Al no tener un equipo para poder contrastar las medidas, en este caso de CO<sub>2</sub>(Figura 127), la valoración que se puede hacer es relativa, ya que no sería lógico pensar que un valor inferior a 50 ppm sea el correcto, incluso para la zona de mejores condiciones ambientales, que es sujeto de estudio en este momento.



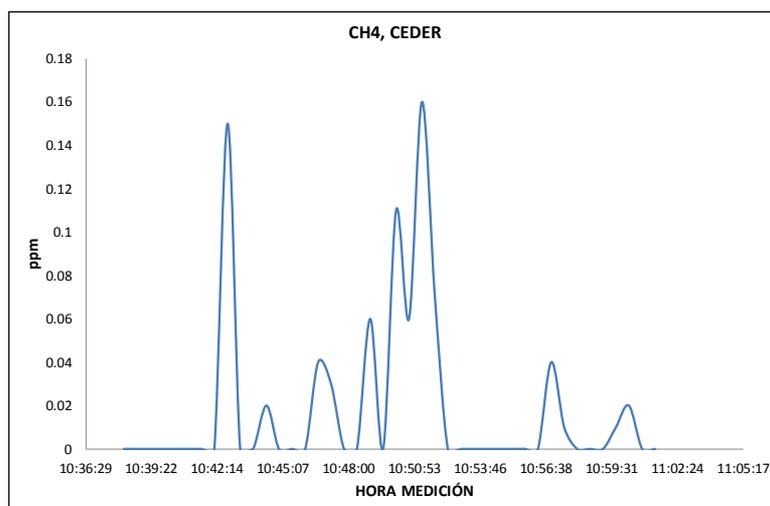
**Figura 128.** Evolución matutina del SO<sub>2</sub>. CEDER. Soria. (13/08/2009).

En lo que respecta al SO<sub>2</sub> (Figura 128), se puede decir que una variación entre cero y una ppm no es una concentración de contaminación fiable, ya que el equipo según fabricante, no da una fiabilidad eficaz por debajo de cinco ppm.



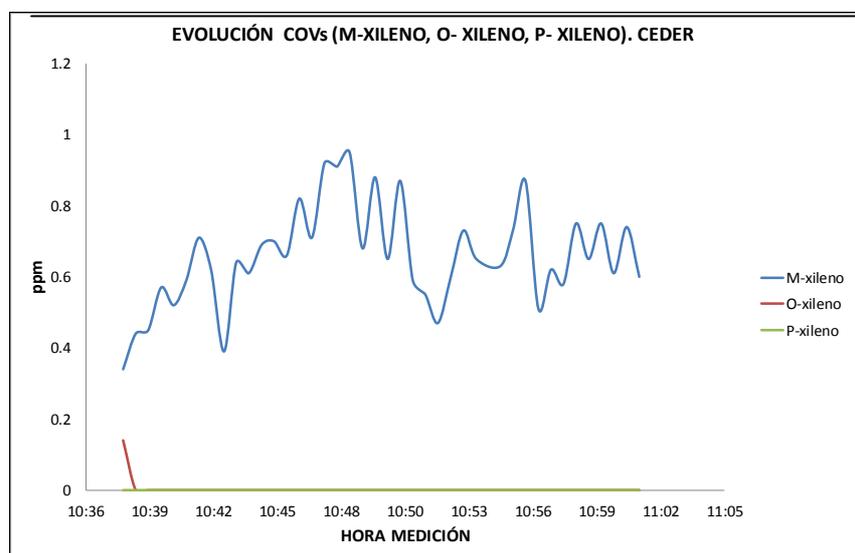
**Figura 129.** Evolución matutina del NO<sub>x</sub>. CEDER. Soria. (13/08/2009)

En este caso, el estudio del monóxido y dióxido de nitrógeno (Figura 129), se puede observar como existe la posibilidad de encontrar errores de interpretación de los datos por parte del programa que los interpreta; ya que si observamos en el momento que se observa presencia de monóxido, hay dos picos descendientes en el mismo momento de NO<sub>2</sub>, lo que puede dar lugar a interpretar que se ha entendido toda la cantidad de NO<sub>x</sub> como NO.



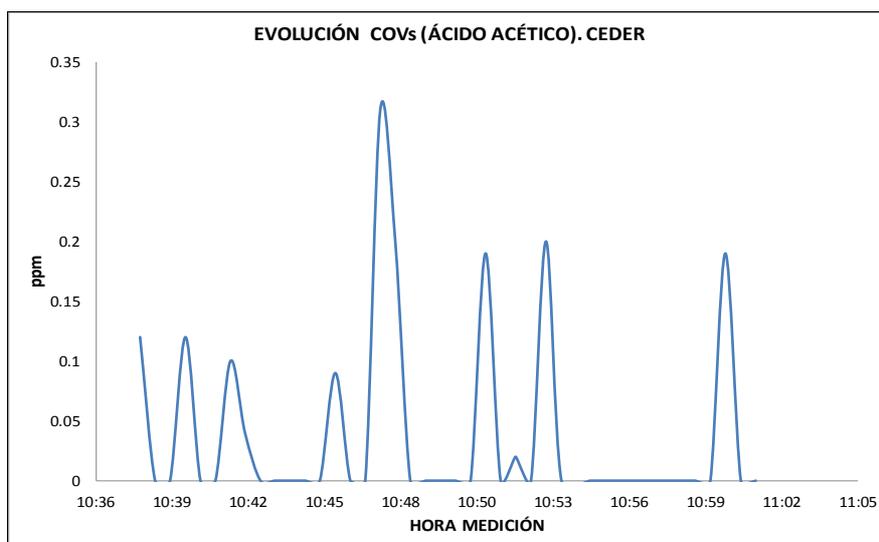
**Figura 130.** Evolución matutina del CH<sub>4</sub>. CEDER. Soria. (13/08/2009)

En lo que se refiere al estudio del CH<sub>4</sub> (Figura 130), una medida donde el pico máximo es inferior a 0,2ppm no se debe de tomar como evidencia de cuantificación, sí se puede entender que se ha detectado una presencia de metano en ciertos puntos de la edificación, que sabiendo el recorrido que se ha realizado concuerda con la lógica de donde se podría esperar encontrar presencia.



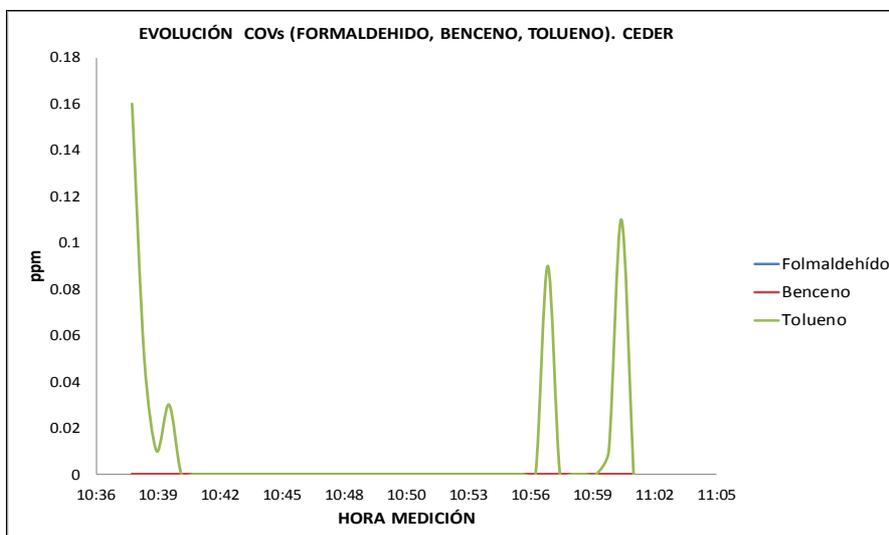
**Figura 131.** Evolución matutina de xilenos. CEDER. Soria. (13/08/2009)

Al ver la representación de esta gráfica (Figura 131), se puede observar que sólo hay m-xileno, aunque en una concentración ínfima, casi indetectable, así que estos resultados son tomados como una valoración inicial, en espera de ser contrastados con futuras experimentaciones.



**Figura 132.** Evolución matutina del ácido acético. CEDER. Soria. (13/08/2009)

En el caso del ácido acético (Figura 132), se observan bastantes picos muy diferenciados, a pesar que se observa en el fondo de escala que la cantidad es muy baja, casi parece una representación, de si se detecta presencia simplemente y no cantidad.



**Figura 133.** Evolución matutina del formaldehído, benceno y tolueno. CEDER. Soria. (13/08/2009)

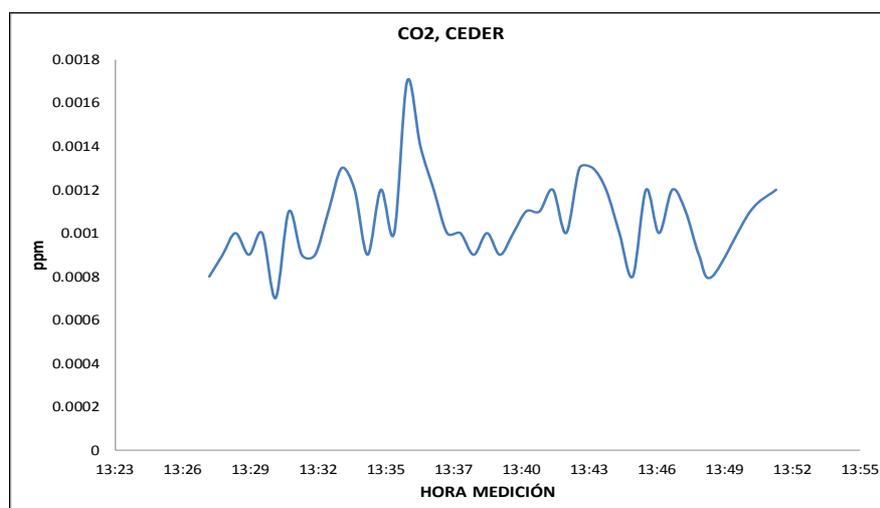
En lo concerniente a la evolución del COVs, de este tipo de contaminante (Figura 133), tan sólo se ha detectado presencia esporádica de Tolueno y no parece guardar mucha lógica con el recorrido realizado, ya que si hay presencia en el despacho de archivo, se esperaría que la hubiese en otros despachos.

## CEDER- 13-08-2009- TARDE

Dado que en la mañana de este mismo día, se han encontrado resultados dispares y difíciles de discutir, al mismo tiempo que no se cuenta con la posibilidad de contrastar los resultados obtenidos con otros equipos; se ha tomado la medida de volver a calibrar el equipo DX4030, quitando la sonda (a diferencia que en la mañana) y dejándolo que se limpie con gran cantidad de  $N_2$ , bastante presión durante bastante tiempo.

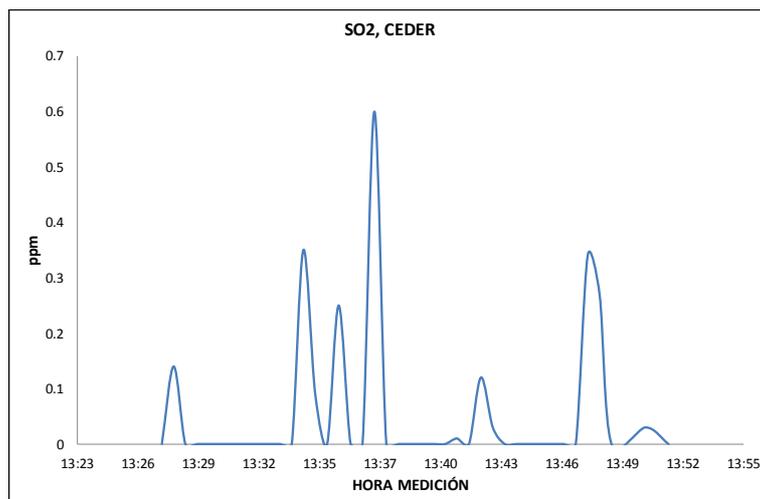
Sin embargo, al igual que en la mañana de este mismo día, se han obtenido resultados de difícil interpretación, incluso en casos aislados, negativos. A pesar de que el espectro obtenido es exacto al ejemplo de fábrica, entendiéndose que el calibrado ha sido el idóneo, se sigue trabajando y estudiando las posibilidades y alternativas para la resolución y validación de los resultados.

### EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.



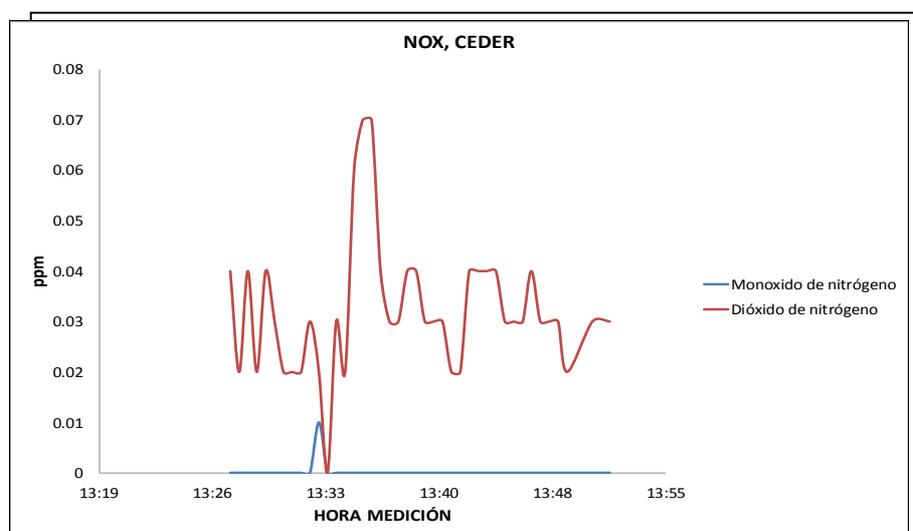
**Figura 134.** Evolución vespertina del CO<sub>2</sub>. CEDER. Soria. (13/08/2009)

Seguimos observando (Figura 134) que no se detecta dióxido de carbono en cantidades significativas al igual que en la mañana. Sin un valor de otro equipo que mida el mismo contaminante, no se puede avalar este resultado, ya que la lógica y la bibliografía indican que hay una contaminación base mínima en cualquier ubicación.



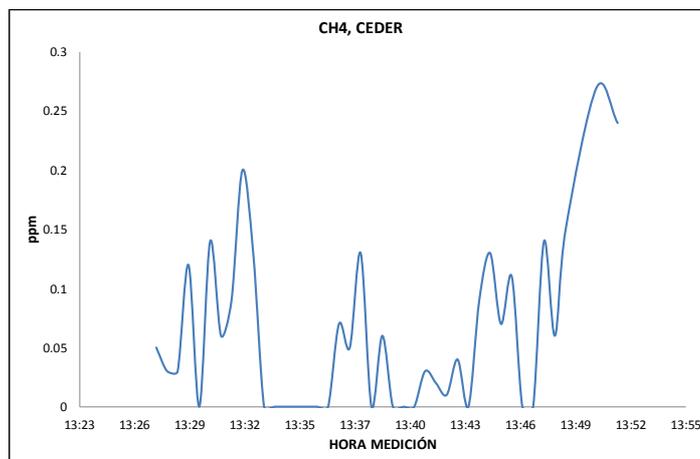
**Figura 135.** Evolución vespertina del SO<sub>2</sub>. CEDER. Soria. (13/08/2009).

En el caso que concierne a este contaminante (SO<sub>2</sub>), una vez más nos encontramos que el equipo está detectando presencia del mismo, sin embargo la concentración está fuera del rango de los límites de detección, por tanto sólo sería señalable que se ha calificado el SO<sub>2</sub> (Figura 135).



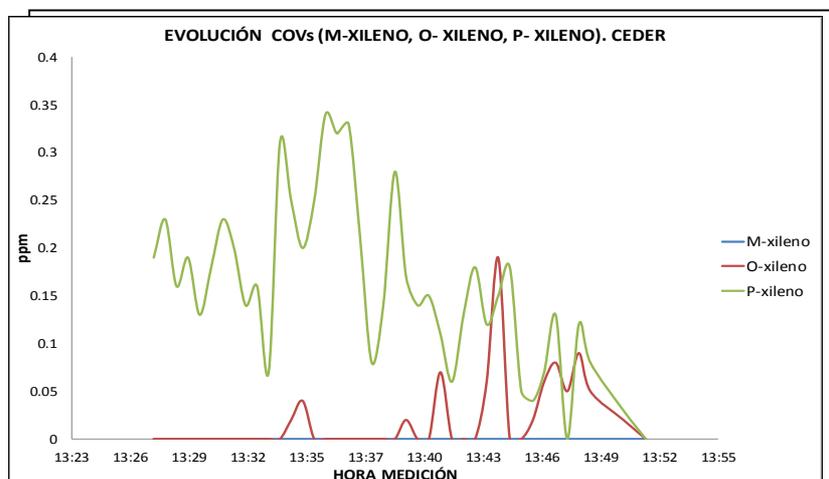
**Figura 136.** Evolución vespertina del NOx CEDER. Soria. (13/08/2009)

En la representación de la figura 136, se debe de señalar que el fondo de escala de esta representación es extremadamente bajo, los picos y las diferenciaciones de los resultados obtenidos, incita a pensar que en estos momentos, dada la buena resolución de los picos y el sentido que parece tener esta gráfica, la interpretación más lógica sería que la cuantificación no está ajustada pero sí hay una buena respuesta en cuanto a la calificación del contaminante.



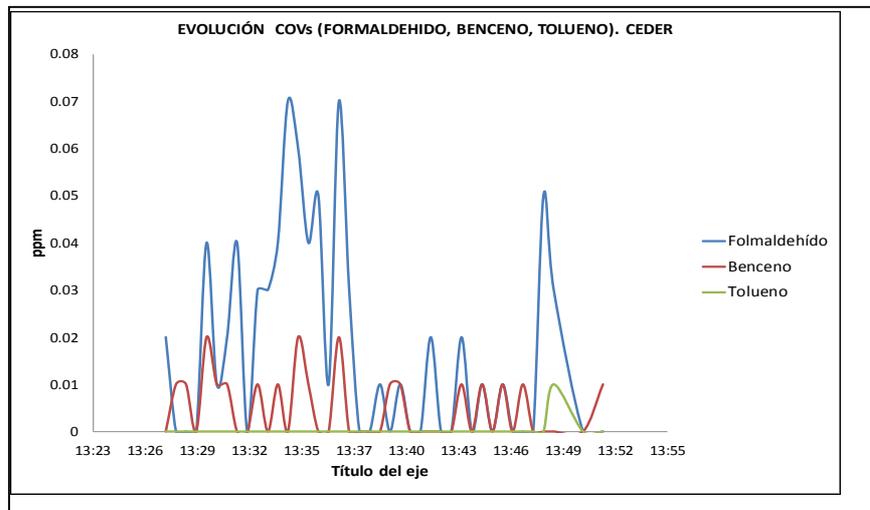
**Figura 137.** Evolución vespertina del CH4 CEDER. Soria. (13/08/2009)

En la figura 137, una vez más nos encontramos frente a un fondo de escala muy bajo, pero además en este caso no parece concordar la representación con el recorrido realizado, ya que si se ha muestreado en despachos análogos y con ocupación, cabría esperar una respuesta concordante, al igual que debería de suceder con los dos puntos de muestreo del exterior; sin embargo no se observa esa correlación.



**Figura 138.** Evolución vespertina de xilenos CEDER. Soria. (13/08/2009)

A diferencia de los resultados obtenidos en la mañana de este mismo día, el único contaminante que no se observa es el que ha mostrado presencia hace escasas horas (Figura 138). Esta evolución hace que se deba suponer que el equipo está detectando algún tipo de Xileno pero que no es capaz de resolver cual es exactamente. Esta es una observación, que será fruto de estudio a lo largo de sucesivos años en las medidas que se puedan obtener.

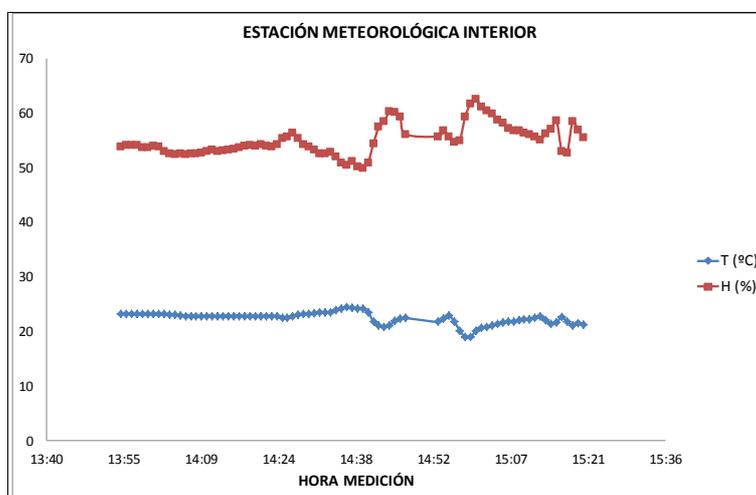


**Figura 139.** Evolución vespertina de formaldehído, benceno y tolueno CEDER. Soria. (13/08/2009)

Al igual que la anterior representación (Figura 138), sobre unos compuestos similares desde el punto de vista del espectro de IR, agrupados así debido a que guardan ciertas similitudes y a la hora de interpretación de resultados por el equipo de medida, se encuentra nuevamente la situación (Figura 139) que uno de ellos que se calificó hace unas horas, el tolueno, ahora se encuentra casi una total ausencia, justo al contrario que en los otros dos casos.

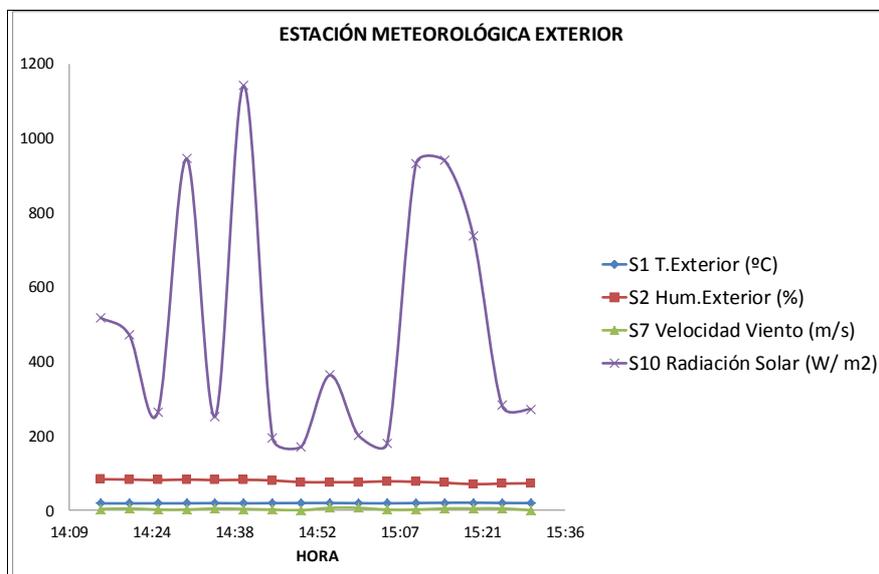
### CEDER- 02-09-2010

Es este día de finales de verano, la temperatura ya ha bajado de los veinte grados y la humedad ya ha ascendido a los valores habituales en esta época en la zona



**Figura 140.** Datos estación meteorológica interior. CEDER. Soria. (02/09/2010)

(Figuras 140 y 141). Hay que recordar que en esta zona perteneciente a la provincia de Soria, las temperaturas no suelen ser muy altas, incluso en verano.



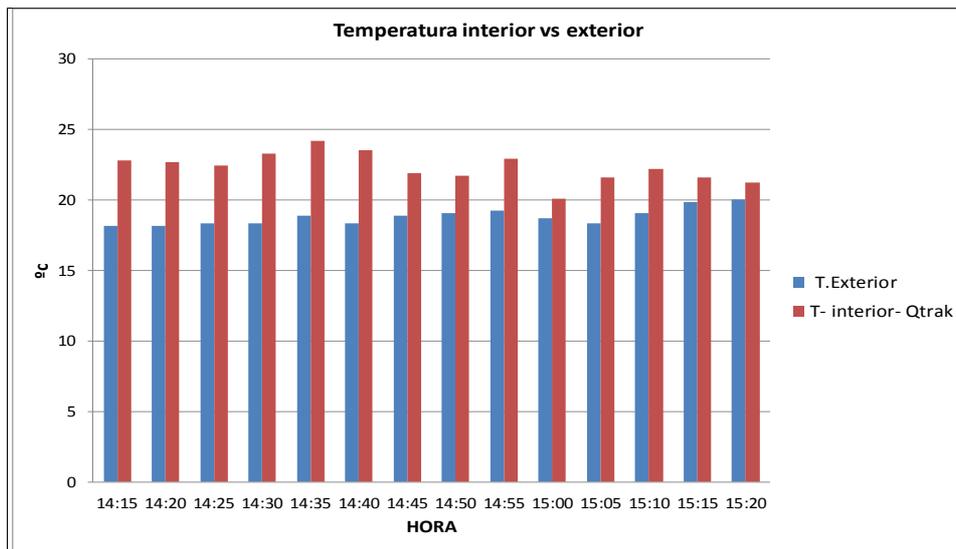
**Figura 141.** Datos de estación meteorológica exterior. (Datos Qtraq, detector portable). CEDER. Soria. (02/09/2010).

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS.

Para realizar las comprobaciones y verificaciones de los resultados que se obtienen, se ha incrementado con todos los equipos que se poseen en este momento en este desplazamiento, de esta manera se espera que se puedan contrastar resultados de distintos sistemas de medida.

Por una parte, la estación meteorológica ya está operativa y en correcto funcionamiento con las cuatro sondas, de las cuales no nos interesa conocer la dirección de viento, de ahí que no se incluya el resultado para este estudio. Por otra parte se ha adquirido recientemente un detector de IAQ portátil para realizar las comprobaciones de los resultados de aquellos parámetros que sean coincidentes. Del resto de parámetros que mide el DX4030 se pueden agrupar todos como VOCs, consecuentemente se ha adquirido el equipo PPB, que su función es determinar la cantidad de VOCs totalizados a isobutileno, conociendo esta determinación, para casos extraños en la resolución de resultados, se podría hacer la comprobación manual del cálculo cuantitativo de los diferentes VOCs analizados y su comparación con el resultado que nos aporte este nuevo equipo también portátil.

El recorrido que se ha hecho en este día de medidas es el que se ha entendido como el habitual, comenzando en la planta baja, en la cafetería para salir dirección al ascensor analizando cada estancia que se encuentra al paso, subir a la planta primera haciendo el recorrido inverso para llegar a la escalera que da el acceso al exterior de la azotea, finalmente se baja directamente a la baja de nuevo para realizar la toma de datos del exterior.

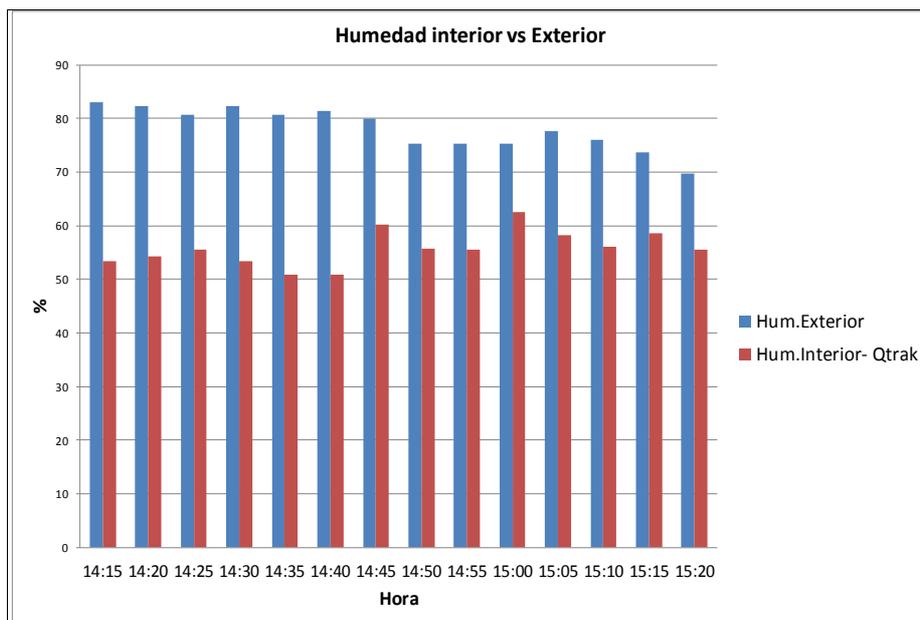


**Figura 142.** Evolución de la temperatura interior vs. exterior. CEDER. Soria. (02/09/2010)

En la gráfica que aquí se expone (Figura 142), se ha hecho una comparación punto a punto simultaneando los relojes, para conseguir ver en cada zona, si existe una gran diferencia de temperatura y si los resultados obtenidos guardan la lógica que se espera obtener.

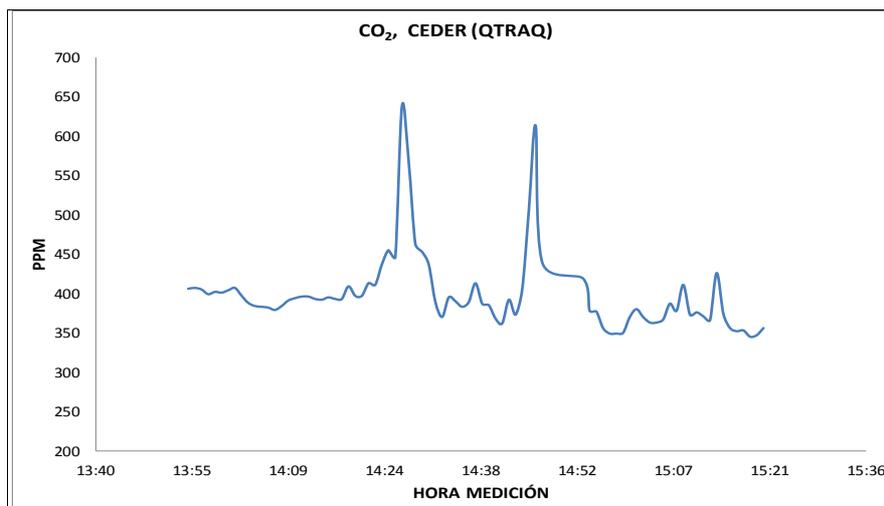
Tal y como muestra la representación, hay una temperatura casi constante dentro de la edificación que está en todo momento dentro del rango de confort. En el exterior de la edificación también se observa cierta continuidad, lo que es totalmente lógico dado el periodo de tiempo de muestreo.

Se mantiene en todo momento ese salto entre ambas temperaturas, excepto el momento del final del muestreo en el paso por el exterior, que aunque no sea la misma temperatura exacta debido que se está midiendo en distintos puntos, si que ha disminuido esa diferencia de temperatura.

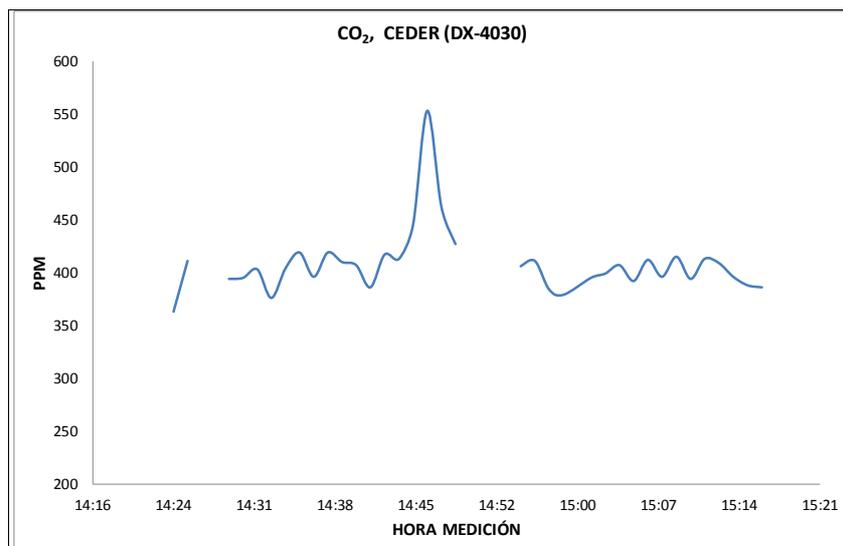


**Figura 143.** Evolución de la humedad interior vs. exterior. CEDER. Soria. (02/09/2010)

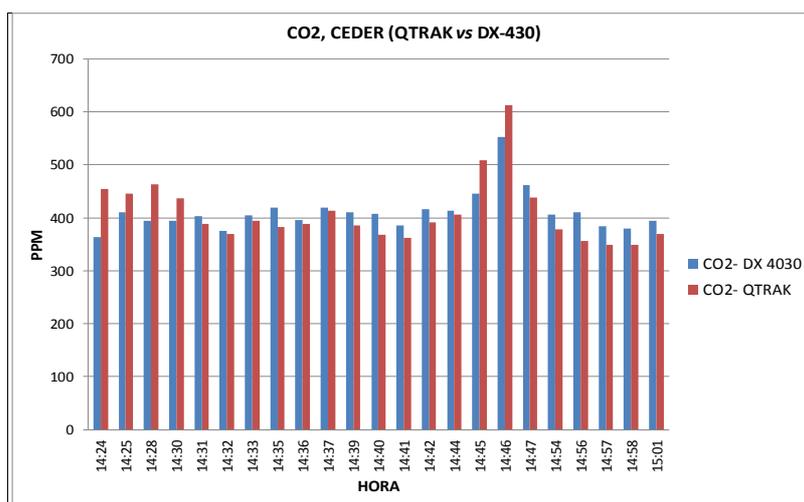
Con la humedad (Figura 143) sucede algo similar a lo ya observado en la temperatura (Figura 142), pero a la inversa, ya que al mantener una temperatura de consigna de confort en el interior hay un descenso en su humedad debido al tratamiento del aire. E igualmente que en el caso anterior, esa diferencia de humedad se reduce en el paso por el exterior, dejando latente que aunque sean distintas zonas de medida, se asemeja el resultado, fundamentalmente manteniendo una linealidad acorde al razonamiento que se puede esperar.



**Figura 144.** Evolución vespertina del CO<sub>2</sub>. (QTRAQ). CEDER. Soria. (02/09/2010)



**Figura 145.** Evolución vespertina del CO<sub>2</sub>. (DX-4030). CEDER. Soria. (02/09/2010)

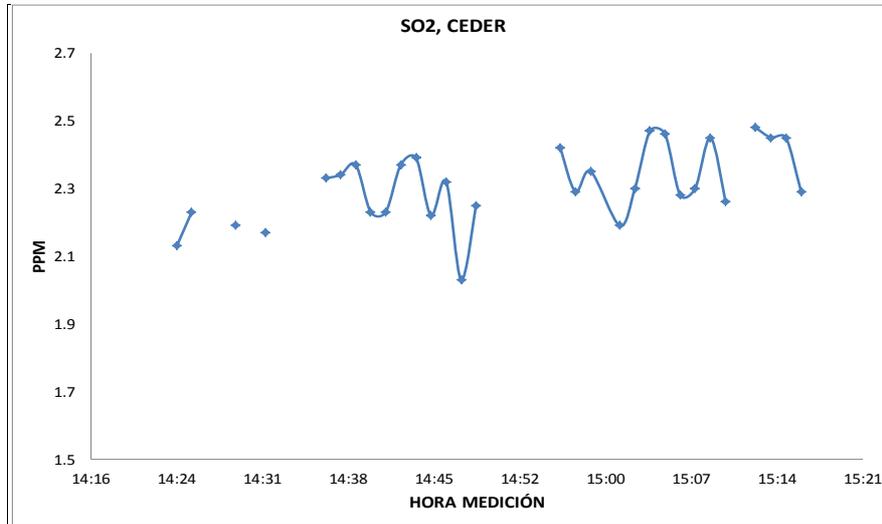


**Figura 146.** Evolución vespertina del CO<sub>2</sub>. (QTRAK vs. DX-4030). CEDER. Soria. (02/09/2010)

Una vez que se han contrastado los resultados de humedad (Figura 143) y temperatura (Figuras 142) con la garita, se procede a realizar lo propio con el CO<sub>2</sub>(Figura 144) y el equipo DX4030 (Figura 145). Tal y como muestra la gráfica (Figura 146), en estos momentos tras los ajustes que se le han estado haciendo al DX4030 en el laboratorio, ahora mide perfectamente, al menos en este caso es fácil de contrastar ambos resultados, fundamentalmente la tendencia que es la parte más importante ya que con una respuesta rápida se pueden analizar las diferencias entre estancias o de forma casi minutil.

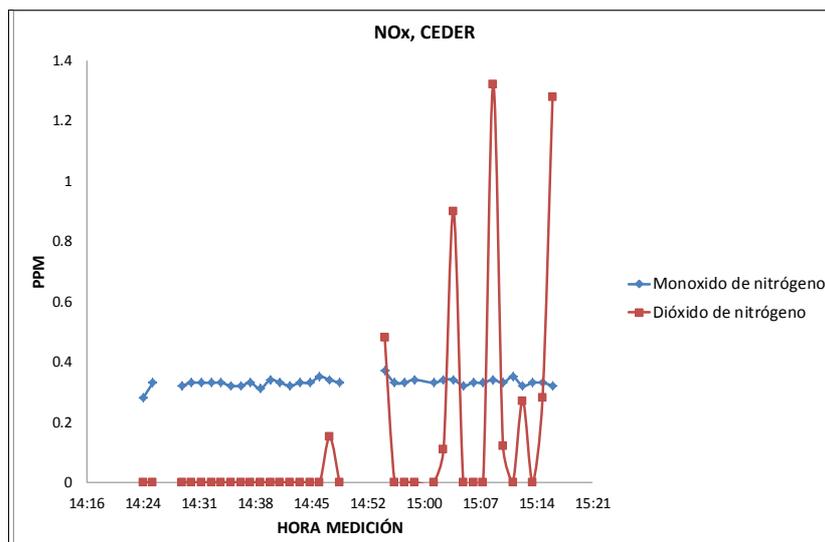
Como es de esperar hay una base en torno a las 400 ppm ambiental propia de la zona (Figura 146), en el caso de la edificación no hay mucha variación en su interior, ya que todas las zonas son análogas y tienen la misma ocupación en

general. Se detecta un pico posiblemente procedente del paso por la zona de máquinas, también refleja como ambos equipos tienen una respuesta inmediata.



**Figura 147.** Evolución vespertina del SO<sub>2</sub>. (QTRAQ).CEDER. Soria. (02/09/2010)

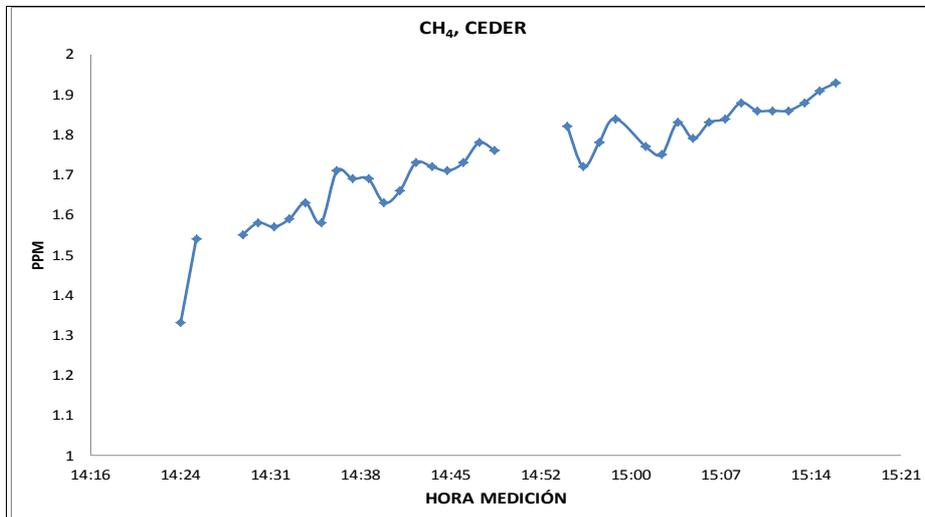
Este es uno de los casos donde se observa presencia o ausencia del contaminante (SO<sub>2</sub>) (Figura 147), dado los límites de detección del equipo, la baja cantidad encontrada, sería lógico pensar que la contaminación es puntual en zonas, pero tan solo se determina presencia o ausencia al nivel de contaminación mínimo detectable con fiabilidad.



**Figura 148.** Evolución vespertina del NO<sub>x</sub>. CEDER. Soria. (02/09/2010)

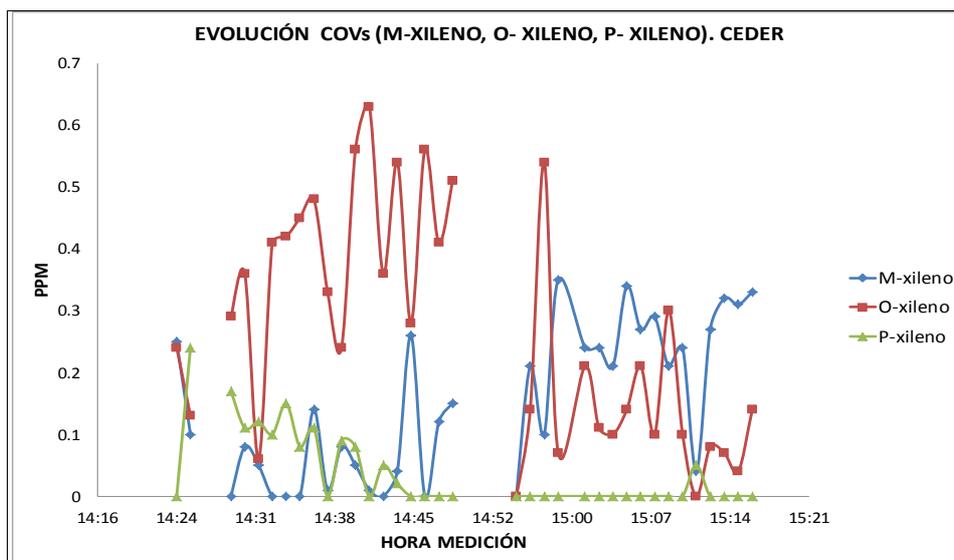
La representación mostrada en la figura 148, corresponde con una lógica esperada, aunque el contaminante sujeto de estudio pudiera ser confundido a

la hora de interpretar los resultados, uno con el otro, en esta gráfica (Figura 148) se observa como guardan una independencia absoluta el uno con el otro, siendo el monóxido una presencia casi constante y el dióxido en bajas concentraciones, pero presente sólo en puntos determinados.



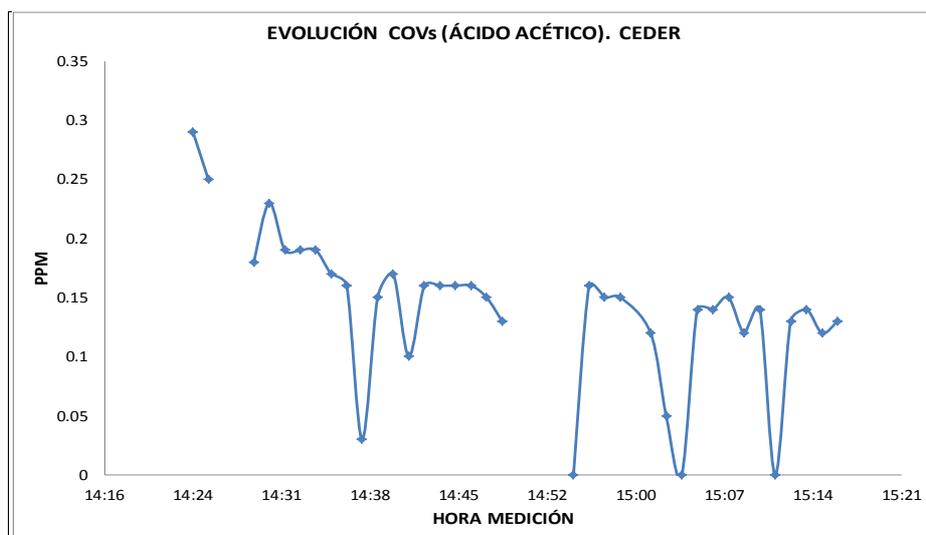
**Figura 149.** Evolución vespertina del CH<sub>4</sub>. CEDER. Soria. (02/09/2010)

La detección de metano (Figura 149) en esta jornada de medidas, una vez más sugiere que es un indicativo de la presencia de este contaminante, ya que lo que se observa es una discontinuidad que va en aumento a medida que pasa el tiempo, pero en todo momento se mantiene por debajo del límite recomendado por el fabricante, estaríamos en la zona de difícil resolución del espectro.



**Figura 150.** Evolución vespertina de xilenos. CEDER. Soria. (02/09/2010)

En lo que los xilenos se refieren (Figura 150), parece evidente que guarda consonancia la contaminación de cada uno de ellos de forma independiente, a la vez que se observa ausencia de todos en el mismo momento. Teniendo en cuenta que la zona de cuantificación en la que nos encontramos es la de la barrera denominada ruido, hablamos tan sólo de presencia, pero el ser coincidentes también en la ausencia y que cuando hay presencia de más de uno no se ve un espectro compensativo, se puede entender que el equipo está dando unos resultados fiables en un límite de tan escasa contaminación.



**Figura 151.** Evolución vespertina del ácido acético. CEDER. Soria. (02/09/2010)

En unos valores de contaminación tan bajos, como el caso concreto de estudio (Figura 151) en estos momentos, la representación de ácido acético, sería más propio definir si se ha observado presencia y donde; pero al ser un estudio tan global en el que se incluyen diferentes contaminantes, zonas y años, sírvase también como referente de otros datos.

#### 5.6. ESCENARIO DEL C-Ddi ARFRISOL DE CIESOL (ALMERIA) (MEDITERRANEO).

En esta edificación la toma de muestras habitualmente se realiza entrando por la entrada principal de la planta baja, tal y como muestra el plano, posteriormente se mide en los despachos de abajo por orden de llegada, después en los laboratorios químicos de abajo y la sala de máquinas para salir directamente al patio, donde se toman las muestras que serán contrastadas como exterior; a continuación, se sube a la planta primera para analizar los laboratorios de instrumentación y finalizar en la magna. Este recorrido se

estima en menos de dos horas de toma de muestras y análisis de resultados. Hay que considerar que en los desplazamientos del pasillo de la planta baja se almacenan residuos de laboratorio químico, siendo la toma de muestras en la parte de los bidones de residuos realizada habitualmente de la misma manera que en el resto de la edificación.

La ocupación del CIESOL por la tarde suele ser medio-bajo, en general es un día soleado, desarrollándose cierta actividad en los laboratorios así como en alguno de los despachos. El lugar donde se toman las medidas no es único, ya que gracias al carácter portátil y de medida inmediata de los equipos es posible tomar medidas en un corto espacio de tiempo y desplazar los equipos de análisis para poder realizar éstas en diferentes espacios dentro del mismo edificio. Las medidas se realizan en las cercanías de laboratorios, situándose contiguas a contenedores de residuos líquidos producto de la actividad en estos laboratorios para ser desechados y / o reciclados (ácidos, bases).



**Imagen XI.** Disposición de los dispositivos de la UIE3

En las imágenes XI y XII se observa la disposición de los dispositivos de los contenedores con residuos líquidos de alta volatilidad.



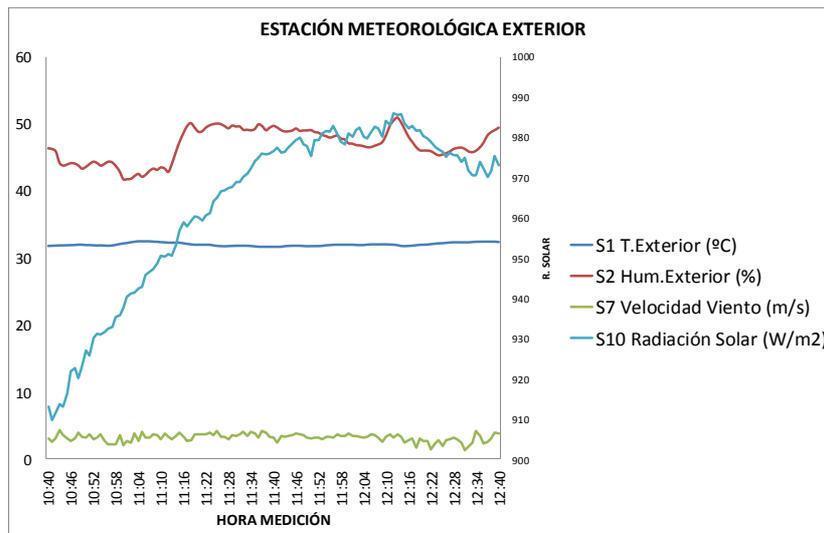
**Imagen XII.** Disposición de los dispositivos de la UIE3 y los adsorbentes del FREMAP

Durante el espacio de tiempo en el que se tomaron medidas no se realizan actividades que pudieran ser consideradas como anormalmente contaminantes, como pueden ser tareas de limpieza, por lo que todas las actividades pueden considerarse como normales en el exterior de laboratorios.

Los aparatos referencian sus resultados en tiempos similares, pero como no se utilizan los mismos equipos siempre en cada día de medida y estos son muy diferentes como se explica en el apartado de Instrumentación, se analiza en una primera instancia su evolución temporal dentro del periodo de medida realizado, de esta manera se observa gráficamente las posibles diferencias y cuando ha sido necesario un análisis exhaustivo de los resultados para poder determinar lo sucedido en estancias concretas, se han utilizado herramientas matemáticas para ajustar los tiempos y poder observar los resultados sincronizados en el tiempo.

**CIESOL 14/07/2011**

En este día de verano en Almería, aunque cerca del Mediterráneo, el calor es intenso y continuado, debido a la influencia del mar, hay una humedad relativa no muy baja y un viento continuado con efecto racheado en ocasiones. La radiación es muy alta, no bajando en ningún momento de 900 W/m<sup>2</sup>, motivo por el cual ha sido necesario graficar con un segundo eje con un fondo de escala específico para esta.



**Figura 152.** Medición de datos meteorológico (exterior). CIESOL. Almería. (14/07/2011)

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS

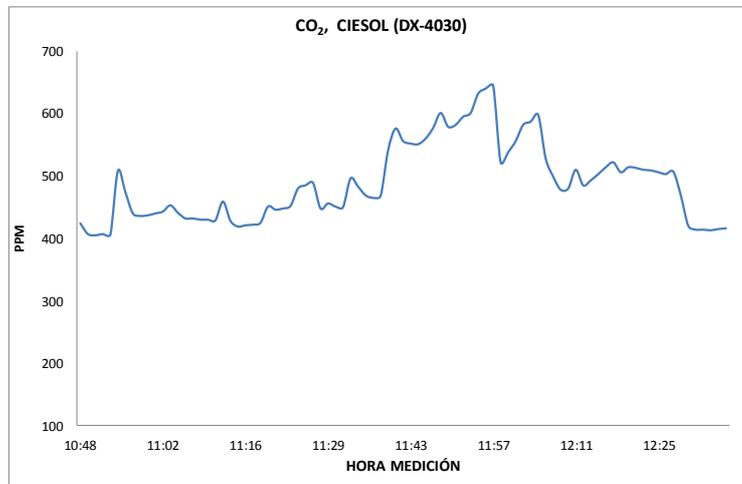
Dado que esta edificación es propiedad de la Universidad de Almería, para poder realizar muestreos en ella, es necesario haber dado el aviso correspondiente al Director del Centro CIESOL para que pueda avisar a seguridad y que permitan el acceso a la edificación. En consecuencia, lo habitual es que en el momento de la llegada ya se esté muestreando para lo cual ha sido una preparación previa de calibración, ajuste y encendido de los equipos.

El muestreo comienza en el exterior, accediendo por la entrada principal que cuenta con un intercomunicador con seguridad, se accede al hall, se entra a los despachos de la planta baja, baño, laboratorios químicos y se sube a la primera planta, donde se analizan los laboratorios de física, la magna, se accede al patio cubierto de la edificación (tipo nave), se desciende, para finalizar tomando una muestra en la zona que está más en contacto con el exterior, zona de captadores solares.

Cuando se solicita la apertura de puertas para el acceso a esta edificación, el equipo ya está en funcionamiento y midiendo, de ahí que se seleccione el DX4030 por su funcionalidad, portabilidad y fundamentalmente por el amplio número de contaminantes que puede detectar y a una concentración muy baja.

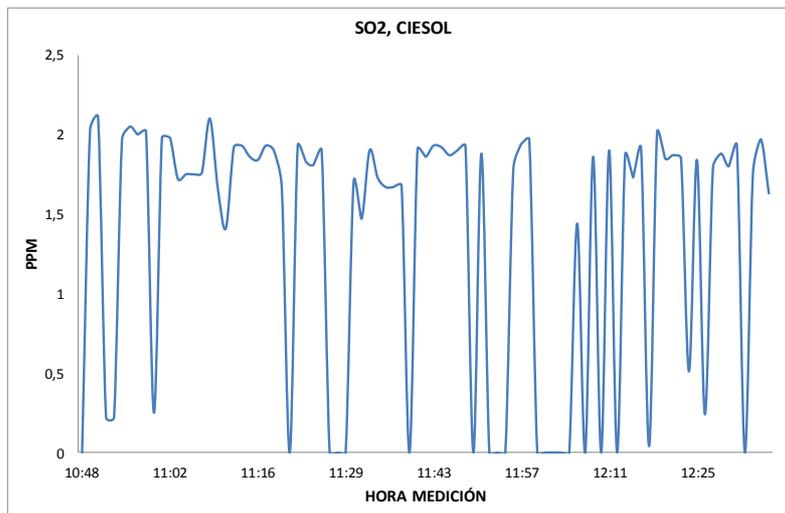
En este día de verano de intenso calor, se espera que la climatizadora esté en funcionamiento, pero curiosamente no está trabajando, se utiliza la ventilación natural a demanda y los fan coils están apagados. Siendo un periodo vacacional habitual en la zona, se ha de añadir que la ocupación de la

edificación es mínima, tan sólo se observa actividad en uno de los laboratorios de la planta alta y un despacho.



**Figura 153.** Medición de CO<sub>2</sub>. CIESOL. Almería. (14/07/2011)

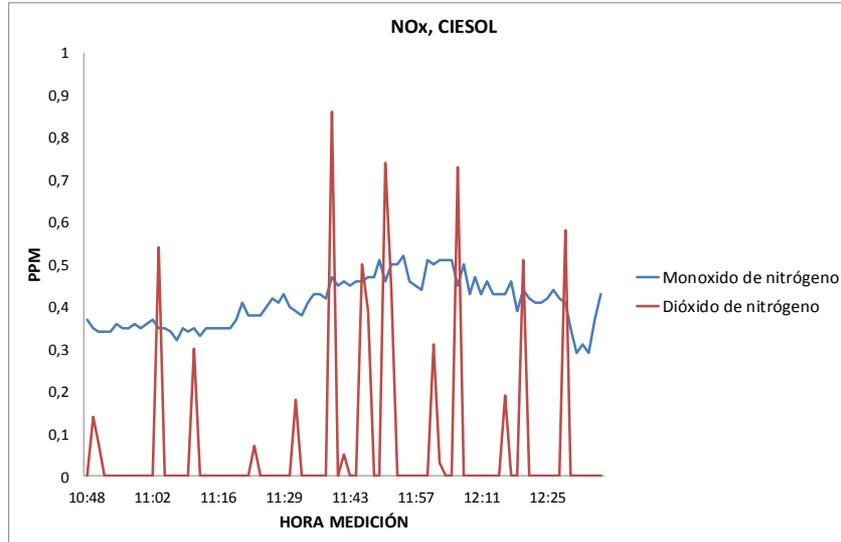
En esta gráfica se observa como hay una concentración de contaminación de CO<sub>2</sub> base en el exterior de unos 400 ppm que se ve incrementada en el interior, fundamentalmente en el laboratorio de física que es donde mayor actividad y ocupación se ha encontrado. Igualmente se observa cómo en la zona del patio interior que comunica con el exterior directamente, la concentración de contaminación es la misma que en el propio exterior.



**Figura 154.** Medición de SO<sub>2</sub>. CIESOL. Almería. (14/07/2011)

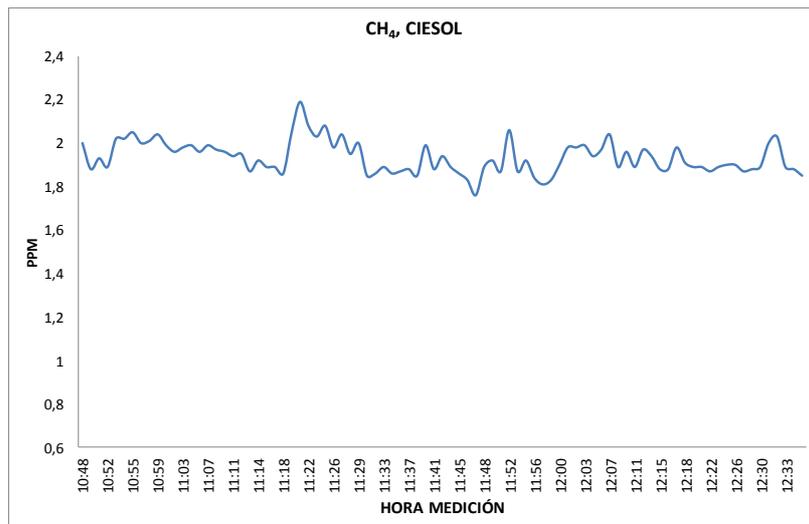
En el caso del SO<sub>2</sub> (Fig. 154) los resultados que se obtienen son más indicativos de si se ha encontrado o no del contaminante, ya que en la banda de cero a dos ppm el fabricante la conoce como franja de ruido donde la incertidumbre es tan

grande que no se garantiza que los resultados obtenidos sean fiables, no obstante aunque no quede cuantificado con precisión, al menos sí queda calificado.



**Figura 155.** Medición de NO<sub>x</sub>. CIESOL . Almería. (14/07/2011)

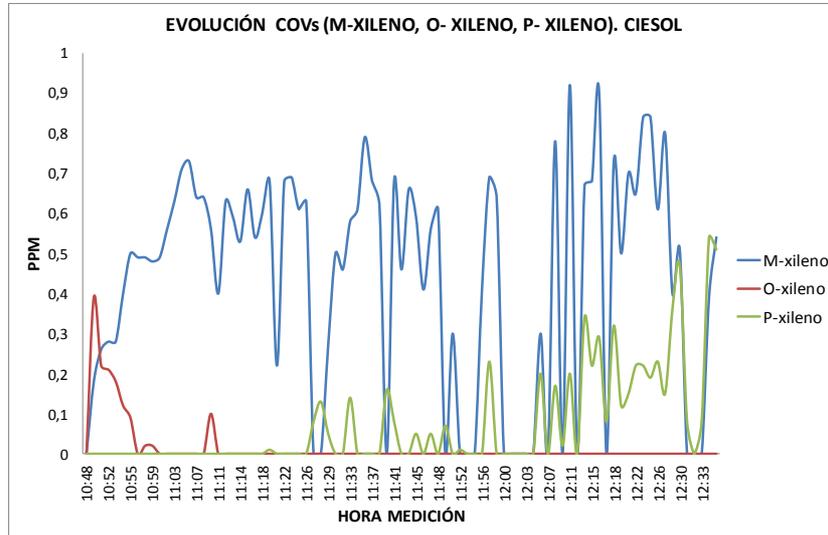
En el caso del monóxido queda latente como es habitual una linealidad durante todo el proceso de medida, que es un indicativo claro que no se deriva de ninguna contaminación adicional de la edificación, sin embargo el dióxido sí hace una gráfica más irregular, teniendo en cuenta que el fondo de escala es de una ppm.



**Figura 156.** Medición de metano. CIESOL . Almería. (14/07/2011)

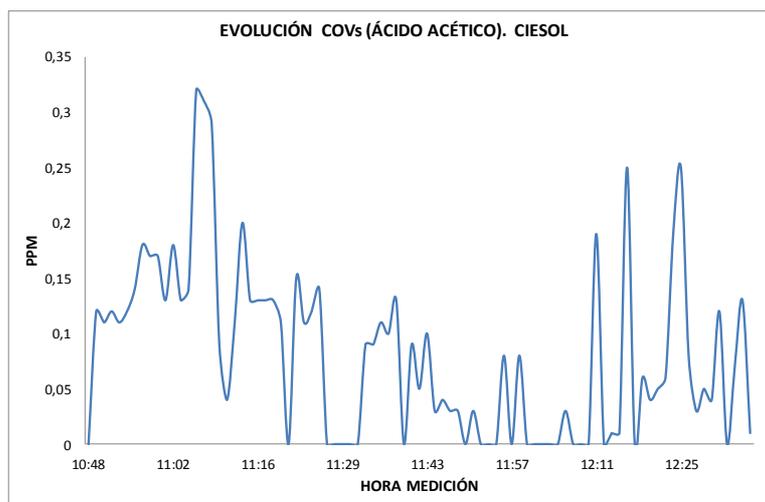
En el caso del metano, la contaminación que existe es muy baja y se mantiene casi uniforme en cualquier punto de la edificación o fuera de ella, esto implica

que si la climatizadora no está funcionando, sólo puede ser que la contaminación sea ambiental y por eso se detecta de igual manera en cualquier punto.



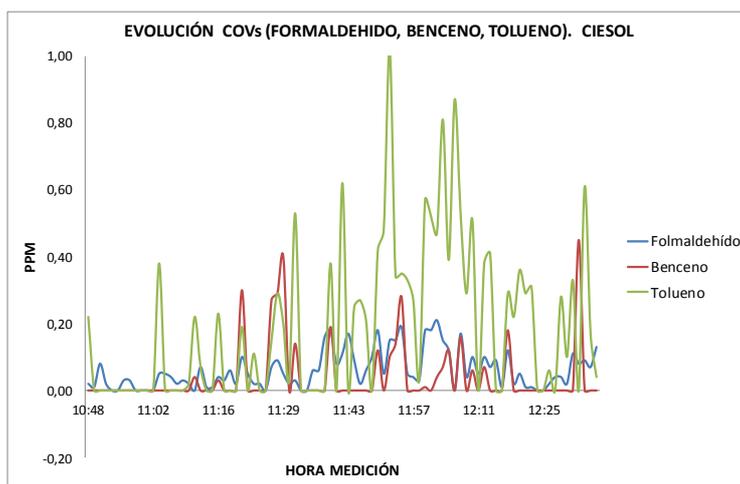
**Figura 157.** Medición de Xileno. CIESOL . Almería. (14/07/2011)

Con los xilenos Fig. 157) ocurre que la detección de éstos en sus diferentes formas, puede influir la aparición o detección óptica de una forma y disminución de otra, siendo así una compensación entre ellos, pero manteniendo la concentración total de la suma; no es así en el caso sujeto de estudio ya que parece suceder lo contrario, que al aumentar una forma aumenta otra de ellas, lo que lleva a suponer que en las zonas de mayor contaminación de estos, se observan en todas sus formas o bien compensándose entre el para y el orto.



**Figura 158.** Medición de ácido acético. Almería. (14/07/2011)

En una edificación donde hay laboratorios químicos y se trabaja con disolventes, de los cuales se almacenan los residuos en el pasillo de dichos laboratorios, es de esperar una mayor concentración de este contaminante (Fig. 158), sin embargo ha sido muy escasa o casi nula incluso en las inmediaciones. Posiblemente sea el efecto de haber realizado una limpieza exhaustiva antes de comenzar el periodo vacacional.



**Figura 159.** Medición de COV,s. CIESOL. (14/07/2011)

Esta edificación no tiene acabados en madera, o barnices, tan sólo el mobiliario de los despachos, por eso la detección de este contaminante (Fig. 159) ha sido muy escasa, con los otros dos, ocurre algo similar, ya que la concentración es muy baja casi indetectable, fundamentalmente en el caso del benceno, ya que del tolueno si ha dejado constancia que algún resto de sus precursores habituales aún esté dando aporte, aunque leve al interior.

## 5.7. ESCENARIO DEL C-Ddi ARFRISOL DE PSA-ALMERIA

### 5.7.1 TOMA DE MUESTRAS

En esta edificación hay que destacar que la parte superior de la planta (imagen superior) es la cara Norte del Edificio, consecuentemente la de abajo es la Sur; teniendo esto en cuenta y los accesos de esta edificación, se puede entrar por la cara Este, Oeste o Central por la cara Norte; lo habitual es entrar por la Oeste, medir en despachos y pasillos para acabar con auditorio, hall, sala de reuniones y exterior. Este recorrido se estima en menos de noventa minutos de toma de muestras y análisis previos de resultados en función del equipo que se porte.

La ocupación de este edificio de oficinas de la PSA, suele tener siempre la misma ocupación, aunque estuviesen siempre ocupados todos los despachos, más de la mitad del edificio sólo se utiliza en ocasiones excepcionales de

visitas, charlas, reuniones y otras necesidades en función del momento. No obstante hemos de tener en cuenta que la ocupación de estos despachos es por la mañana y excepcionalmente algunos casos por las tardes, quedando dos terceras partes del día o desocupado o con un ligero uso; si consideramos que en el desierto no se espera contaminación y que el edificio dentro de la PSA está bastante aislado de los centros de mayor actividad y utilización de equipos, sería de esperar una contaminación lo más cercano a nula posible en la era que estamos viviendo.

Sin embargo, no es el momento de profundizar en los resultados, aunque se ha venido observando en general una serie de acontecimientos que merecen al menos ser mencionados ya que más adelante serán analizados en profundidad.

- Pasillo, puede decirse que está libre de contaminación y bien ventilado en líneas generales, pero se observan diferencias en los extremos y el centro.
- Sala de control: medidas altas, concentraciones elevadas, mala ventilación.
- Zona máquinas: medidas altas, concentraciones elevadas, abierto al exterior
- Formaldehído, no hay fuentes atribuibles a este contaminante, por lo que se espera nulo.

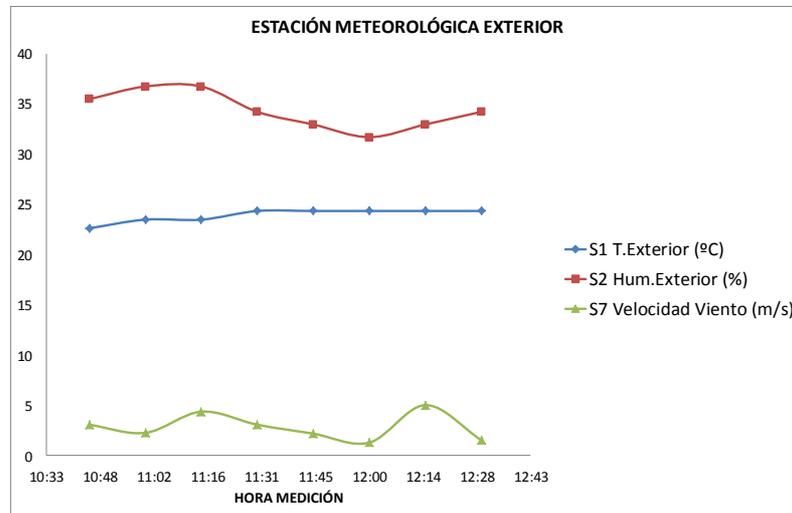
Durante el espacio de tiempo en el que se tomaron medidas no se realizan actividades que pudieran ser consideradas como anormalmente contaminantes, como pueden ser tareas de limpieza, por lo que todas las actividades pueden considerarse como normales.

Los aparatos referencian sus resultados en tiempos similares, pero como no se utilizan los mismos equipos siempre en cada día de medida y estos son muy diferentes como se explica en el apartado de Instrumentación, se analiza en una primera instancia su evolución temporal dentro del periodo de medida realizado, de esta manera se observa gráficamente las posibles diferencias y cuando ha sido necesario un análisis exhaustivo de los resultados para poder determinar lo sucedido en estancias concretas, se han utilizado herramientas matemáticas para ajustar los tiempos y poder observar los resultados sincronizados en el tiempo.

PSA 10/10/2010

En este día de octubre en el desierto de Tabernas hace un día muy caluroso y seco, (Fig. 160) se mantiene una brisa constante que a intervalos es más fuerte. No obstante, debido a que la temperatura no es muy elevada a pesar de la sensación térmica en el exterior, la climatizadora no está en funcionamiento,

tan sólo con la ventilación natural, debido a las estrategias pasivas que se han aplicado, se puede conseguir una ventilación fresca y que llegue a los niveles de confort.

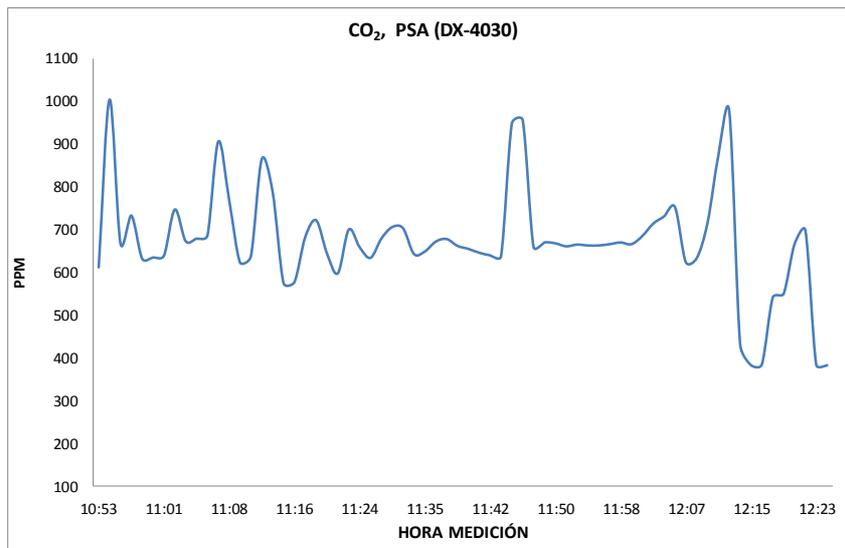


**Figura 160.** Medida de variables en la estación meteorológica exterior. PSA. (10/10/2010)

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS

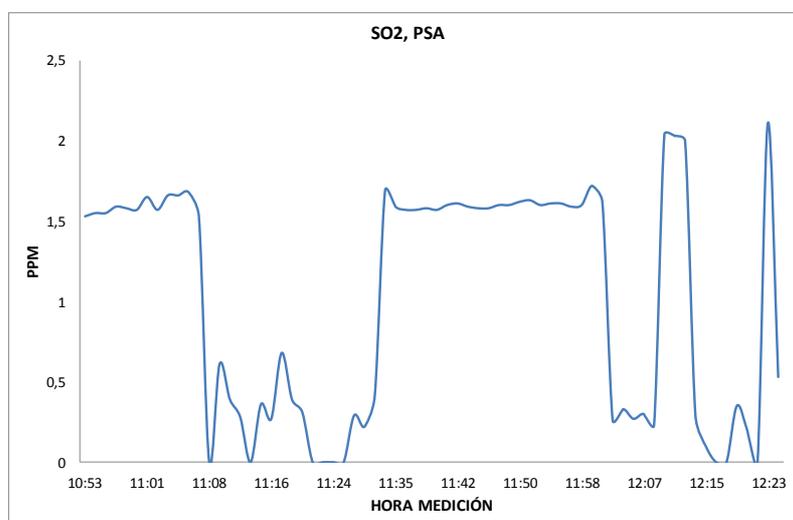
El equipo principal que se ha utilizado es el DX4030, es el equipo más completo, portable y que además de dar unos resultados fiables, es capaz de realizar al análisis de resultados en tiempo real, de una gran lista de contaminantes comunes (Fig. 161 y 162) predefinidos por el usuario y respuesta minutal casi inmediata.

El recorrido que se ha realizado es el habitual para esta edificación, es decir dejando el equipo calibrado y en reposo en el extremo de la zona de despachos, para empezar desde allí el recorrido y continuar por el pasillo analizando los despachos, cafetería, auditorio, sala de reuniones y salida al exterior.



**Figura 161.** Medición de CO<sub>2</sub>. PSA. (10/10/2010)

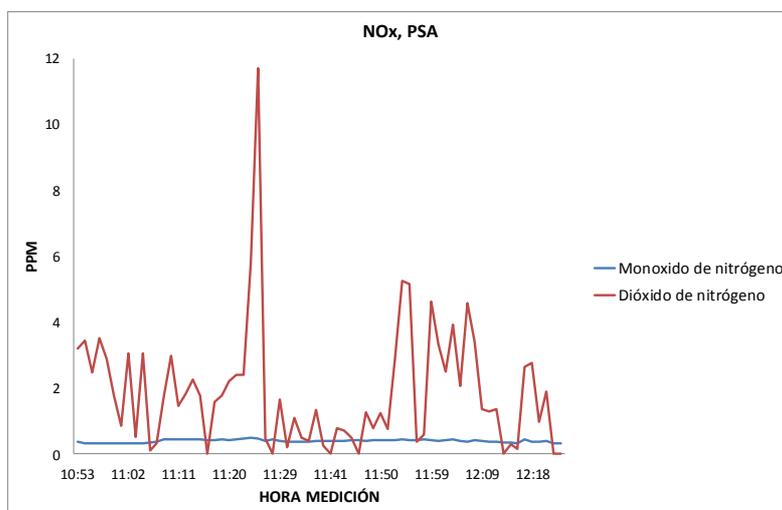
Tal y como se ha comentado anteriormente, al estar apagada la climatizadora no se trata el aire que entra desde el exterior, consecuentemente no pasa a través del filtrado físico que posee ésta y la contaminación en el exterior es inferior a la



**Figura 162.** Medición de SO<sub>2</sub>. PSA. (10/10/2010)

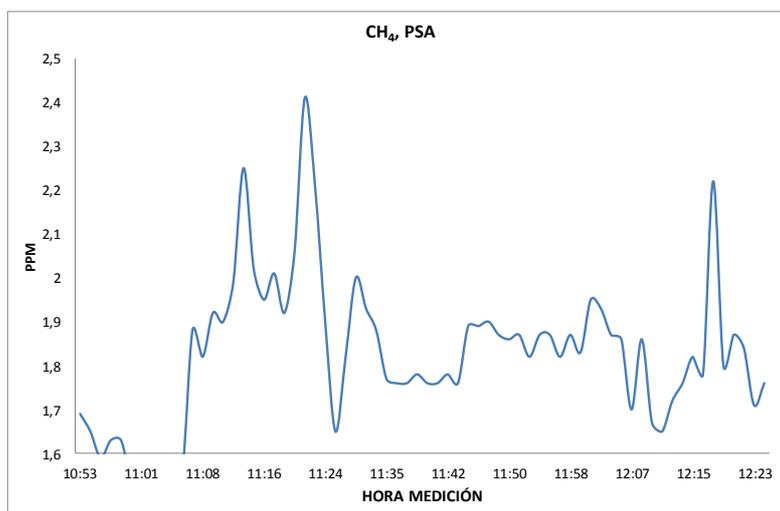
que se encuentra en el interior, ya que se suma la concentración con la que llega este aire al aporte de los usuarios y algunos equipos de trabajo.

Este es uno de los contaminantes que no parece verse afectado por la ocupación de la edificación, se observa cómo en las zonas de techos más altos la influencia de este contaminante desciende notablemente aunque en el resto de la analítica realizada no se acerque a un valor relevante en ningún caso, quedando siempre en los límites de detección del equipo utilizado.



**Figura 163.** Medición de  $\text{NO}_x$ . PSA. (10/10/2010)

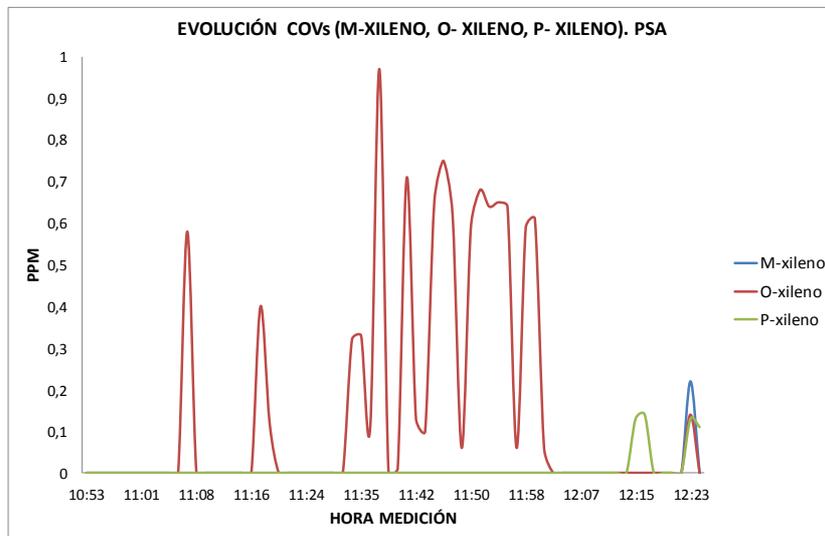
En la observación de esta representación (Fig. 163), se observa cómo el monóxido mantiene una continuidad durante toda la experimentación que no se ve afectado ni por la presencia de los usuarios ni por el trabajo que estos realicen. Sin embargo, se observa cómo hay un notable incremento del dióxido al paso por la cafetería: se entiende que pueda ser por varios motivos, lo más probable es que dicha estancia, al ventilar por la zona que linda con la sala de máquinas del exterior, esté tomando aire para renovación que en parte proviene de la salida al exterior de dicha sala de máquinas.



**Figura 164.** Medición de Metano. PSA. (10/10/2010)

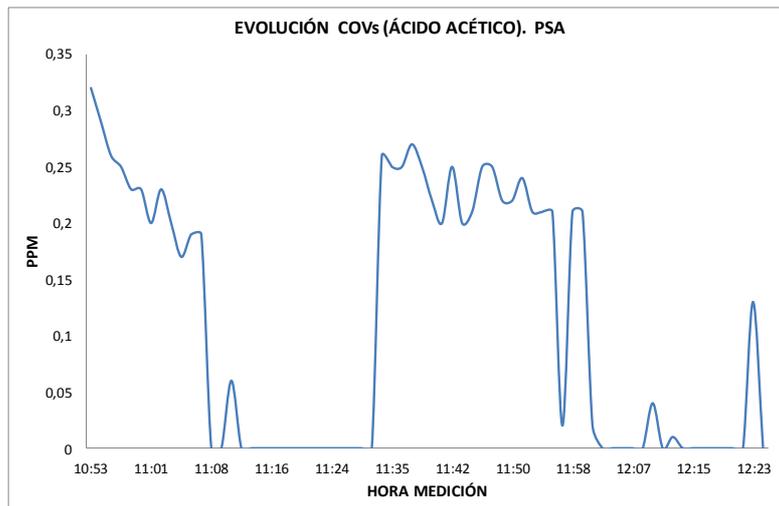
La concentración de metano a lo largo de toda la experimentación, (Fig. 164) no revela que exista ninguna contaminación a tener en cuenta, hay una muy baja contaminación y se observa cómo ya desde el exterior existe presencia, y

que en las zonas de despachos, que son las de máxima ocupación hay un ligero incremento.



**Figura 165.** Medición de Xilenos. PSA. (10/10/2010)

En el caso de los xilenos, (Fig. 165) prácticamente no se observa presencia en ningún momento, ya que el fondo de escala de la representación es de una ppm y tan sólo es en la forma de orto donde se ha detectado presencia, sin embargo ésta no va asociada a la ocupación ni a la ventilación como hemos podido comprobar.

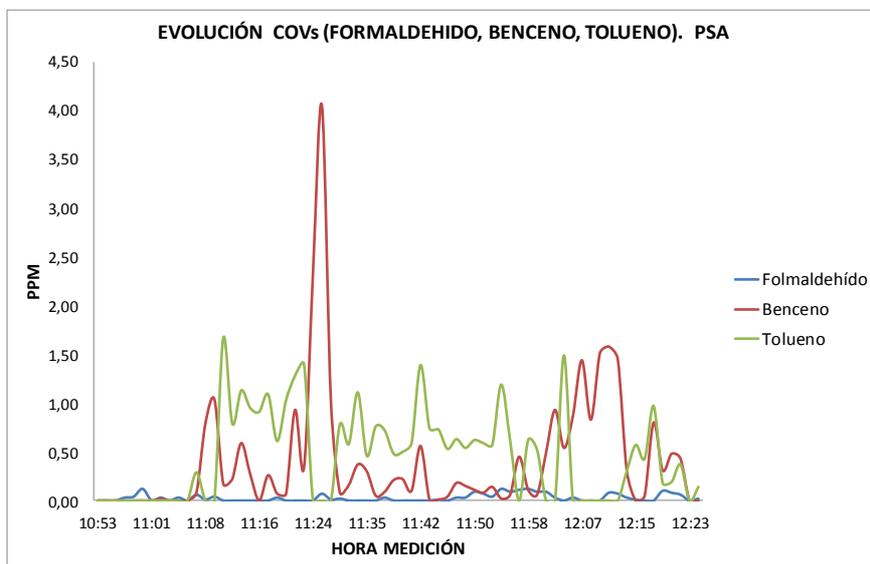


**Figura 166.** Medición de ácido acético. PSA. (10/10/2010)

En el caso del ácido acético, (Fig. 166) la presencia que se detecta está por debajo del límite de detección del equipo, coincide con la banda que define el fabricante como banda de ruido ya que un espectro con tan baja concentración es difícil de definir. Sin embargo, gracias a un fino trabajo de calibración y

limpieza de la celda de análisis de DX4030, el espectro revela una cierta linealidad en los resultados obtenidos, siendo éste el motivo de considerarlo para el análisis de los resultados obtenidos.

De esta gráfica (Fig. 167) se debe dejar constancia de varias observaciones, una de ellas es que el formaldehído tiene una ligera presencia a lo largo de todo el recorrido, a pesar que no sería un contaminante que se esperara encontrar en una edificación con los acabados en mármol . No obstante, lo más reseñable es la concentración encontrada en la zona de cafetería del benceno, no es una concentración alarmante desde el punto de vista de la salubridad humana, pero sí ha de considerarse, que siguiendo la hipótesis planteada en el caso del  $\text{NO}_2$  de este mismo día, sea la sala de máquinas la que está dando un aporte al exterior



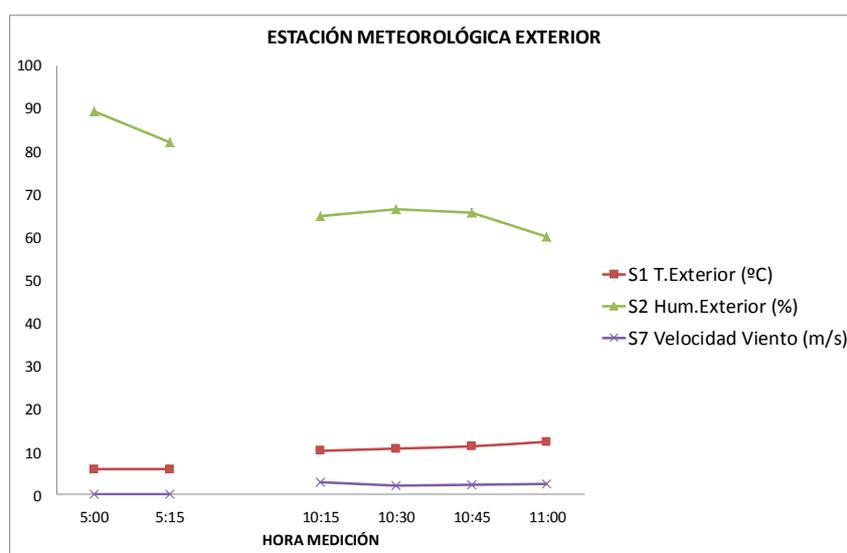
**Figura 167.** Medición de formaldehído, benceno y tolueno. PSA. (10/10/2010)

de varios contaminantes que normalmente no se tiene un control de la contaminación de estos; pero también se debe de señalar como alternativa a esta hipótesis planteada, que teniendo en cuenta que el tolueno ha mantenido una continuidad durante todo el proceso, excepto en el gran incremento de concentración del benceno, que sea el equipo quien esté identificando erróneamente los resultados, debido a su similitud molecular; o también, que siendo justo en el momento de

sufrir un aporte de contaminantes (potencialmente varios no calificados) de la sala de máquinas, que se produzcan reacciones en el aire que deriven en la obtención de benceno a partir del tolueno.

En esta ocasión, se ha realizado un gran esfuerzo para poder disponer una campaña de muestreo donde se pueda dejar constancia representativa de la diferencia entre una edificación bioclimática, ubicada en el desierto, en claro contraste entre el día y la noche. Durante la noche esta edificación obviamente está sin ocupación ni climatización.

Se observa, que a pesar de estar en pleno desierto de Tabernas, en la noche la humedad es muy elevada y la temperatura muy baja, a medida que ha ido avanzando la mañana se pierde parte de esa humedad y se va incrementando la temperatura. En la noche el viento es inexistente, sin embargo la aparición de la radiación con su consiguiente calentamiento, hace que comiencen las rachas de viento advectivo, y aunque existe cierta variación en la velocidad, no obstante se observa una cierta continuidad.



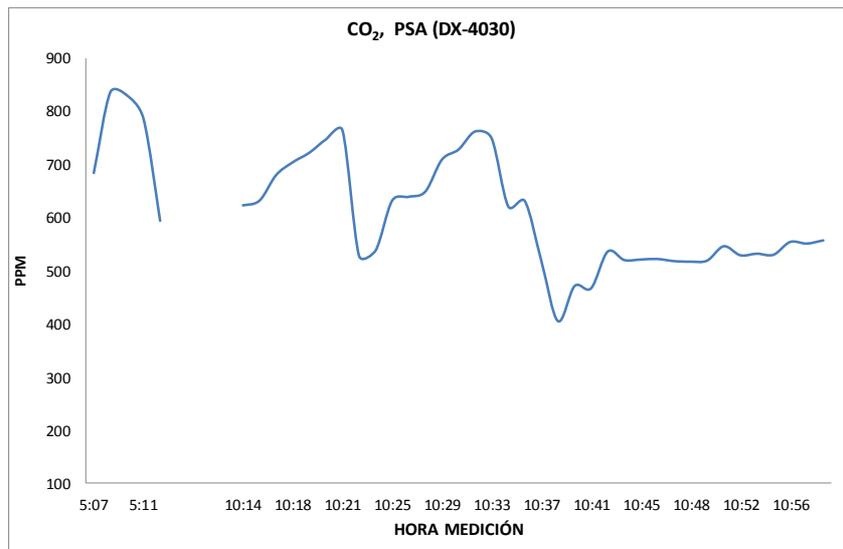
**Figura 168.** Datos meteorológicos. PSA. Almería (23/03/2012)

## EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS

En ambos casos se ha utilizado el mismo equipamiento, habiendo hecho el calibrado del mismo la noche anterior y dejando antes y después de su utilización la batería en carga y el equipo en reposo.

El equipo DX4030, como ya se ha venido observando, da unos resultados fiables y perfectamente validados, argumento que motiva que en esta laboriosa batería de medidas, hayamos centrado nuestra atención en los resultados de este equipo y los hayamos tomado como prioritarios.

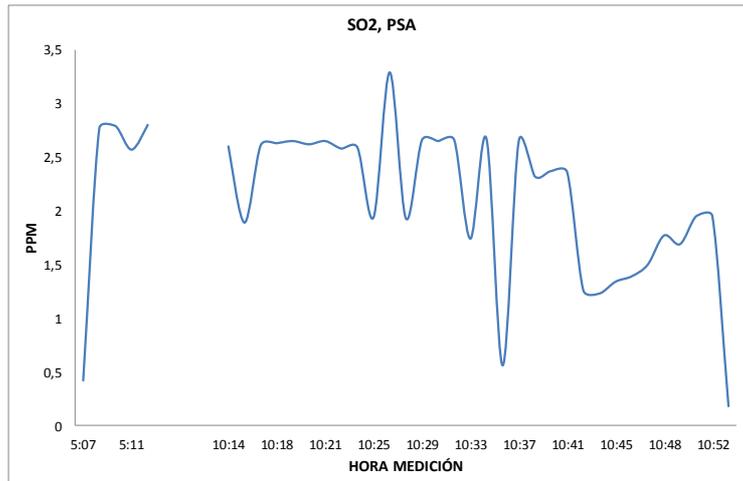
El recorrido realizado ya es el habitual para esta edificación, se dejan los equipos calibrados y estabilizándose en el despacho más alejado de la sala de reuniones, para comenzar desde aquí las medidas (excepto a las 5 a.m. que se ha comenzado en el exterior para seguir con el recorrido normalizado) , accediendo a todos los despachos (no cerrados con llave) que están al paso: cafetería, gran sala de usuarios (becarios y temporales), sala de control, aseos, auditorio, para terminar en la sala de reuniones, saliendo por ese acceso al exterior y finalizar el muestreo.



**Figura 169.** Medición de CO<sub>2</sub>. PSA Almería. (23/03/2012)

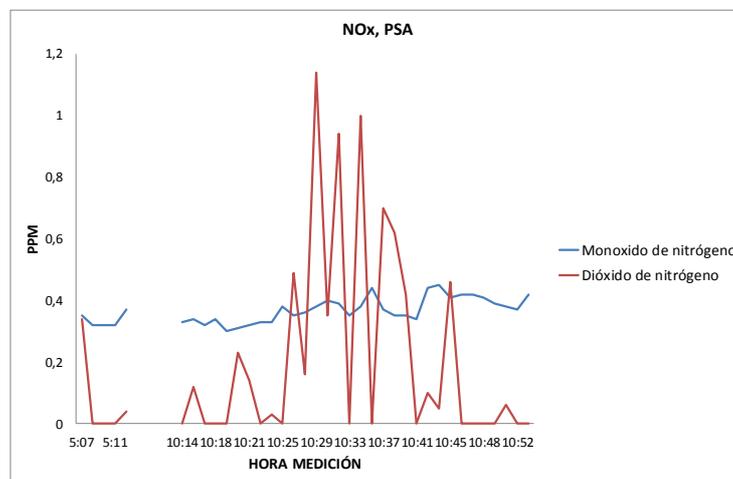
Esta representación demuestra cómo hay una contaminación ambiental residual de CO<sub>2</sub> (Fig. 169) que no cabría esperar que hubiese en una zona desértica. Sin embargo, posiblemente esto se debe al sistema de calefacción del edificio antiguo, cercano al bioclimático; podría haber influido en el aporte de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

El sistema de climatización de esta edificación, ya descrito, cuenta con unos filtros de CO<sub>2</sub> en las tomas de aire, al avanzar el día y encender la climatizadora para acondicionar la edificación, se observa un gran descenso en la concentración, menor que en el exterior debido a que las renovaciones de aire son controladas por este sistema.



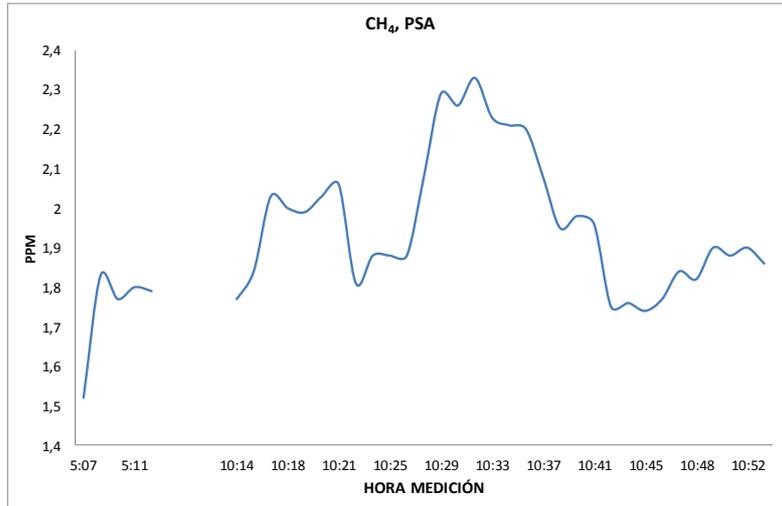
**Figura 170.** Medición de SO<sub>2</sub>. PSA (Almería. (23/03/2012)

Este es un contaminante (Fig. 170) que no se ve afectado por la ocupación de la edificación, es independiente a ella y se observa como la climatizadora a pesar de no tener un sistema específico para el contaminante los filtros de aire son eficaces y al controlar las renovaciones frente al exterior, hay descenso notable, supuestamente porque si nos fijamos en el valor del exterior que tiende a nulo, si el intercambio de aire con el exterior es completo, indica que el precursor es perteneciente a la edificación.



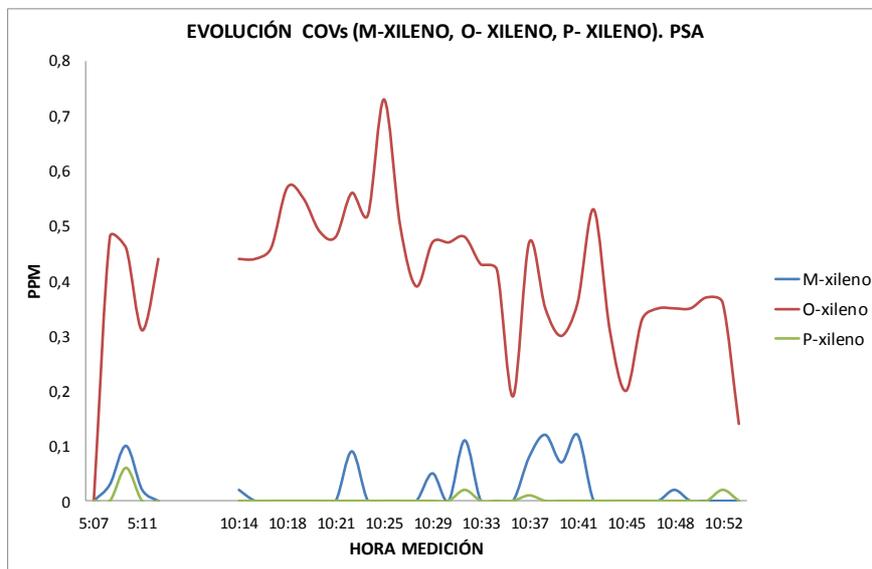
**Figura 171.** Medición de NO<sub>x</sub>. PSA . Almería. (23/03/2012)

El monóxido (Fig. 171) a pesar de encontrarse en valores muy bajos, se puede observar que es continuo e indiferente a donde se muestra, sin embargo el dióxido tiene una



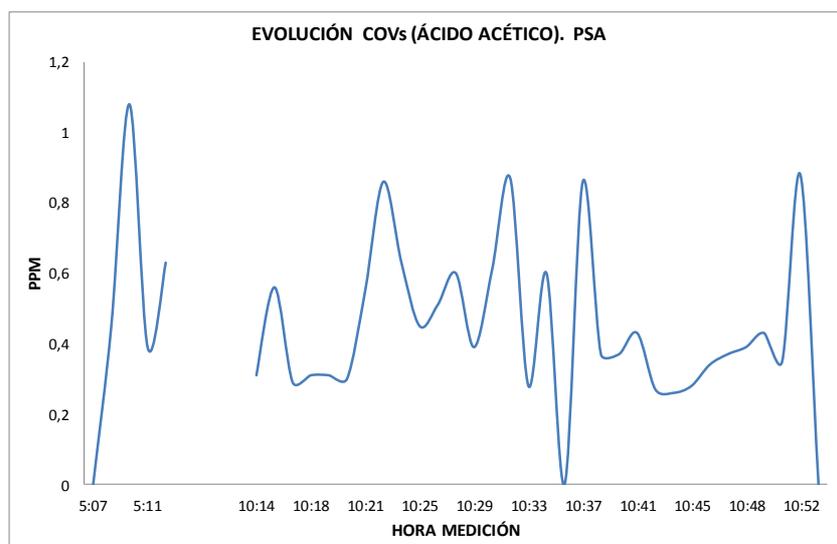
**Figura 172.** Medición de metano. PSA. Almería. (23/03/2012)

El metano (Fig. 172) ha demostrado acompañar a los usuarios en los momentos de una ocupación elevada, en este caso se observa el mismo efecto, cómo en la madrugada el máximo observado coincide con el mínimo del horario laboral, siendo mayor su concentración en las zonas de mayor ocupación.



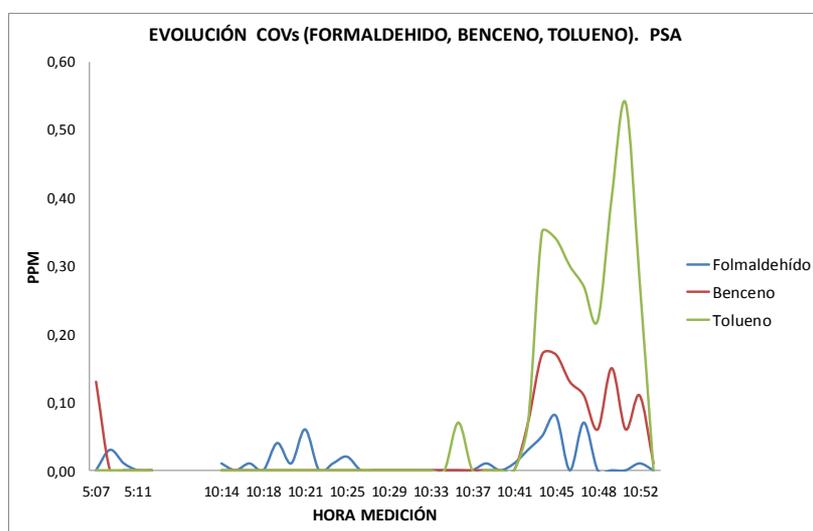
**Figura 173.** Medición de Xilenos. PSA. (23/03/2012)

Los xilenos (Fig. 173) en toda la batería de medidas de este día, dan unos valores muy bajos, teniendo en cuenta que dependen de la concentración del aire exterior, sumándole la que se pueda generar dentro de la edificación, tan sólo hay una ligera presencia dentro del contenedor, siendo fuera una tendencia a cero, esperable de un entorno tan puro.



**Figura 174.** Medición de ácido acético. PSA. Almería. (23/03/2012)

Tal y como se observa en esta grafica hay una contaminación de ácido acético (Fig. 174) exterior nula y dentro de la edificación, hay algún aporte inerte al ambiente que hace que se detecte presencia, en ningún caso es alarmante, sólo ha sido detectado como presencia con la gran sensibilidad que permite un sistema de detección óptica como el empleado en la medida.



**Figura 175.** Medición de Formaldehído. PSA. Almería. (23/03/2012)

Aquí se ve un efecto curioso, cómo la concentración de estos contaminantes (Fig. 175) es detectable en el exterior, siendo el interior un ambiente totalmente limpio. Muy posiblemente sea un residuo que provenga del edificio antiguo próximo. donde hay laboratorios de química para trabajos específicos de

tratamiento de aguas y bioquímicos, que necesariamente utilizan disolventes como herramienta de trabajo.

# 6

## ■ CONCLUSIONES

---

Los dos aspectos principales que se pretende mostrar con este trabajo de Tesis son: cómo se presentan y evolucionan los contaminantes más habituales existentes en las atmósferas interiores de cinco edificios/contenedores bioclimáticos seleccionados y cuáles son las técnicas de análisis y absorbentes más adecuadas en cada caso.

Una vez identificados los VOCs que se pueden encontrar mayoritariamente en cada uno de los CD-dI analizados, parece evidente que hay una amplia gama de compuestos, con múltiples especies y niveles de concentración bajos, que están presentes de forma general como “contaminantes comunes” o más frecuentes.

Teniendo en cuenta la metodología descrita se obtienen valores relativos de contaminantes en el interior de los edificios, realizando análisis equivalentes de unos a otros, de manera que se puedan comparar los edificios de referencia y detectar si la presencia de un contaminante es mayor en uno o en otro.

Por lo que se refiere al sistema de muestreo sobre soporte físico seguido de un posterior análisis en laboratorio, presenta una serie de desventajas para los análisis previstos: el mayor inconveniente encontrado es su escasa utilidad al nivel de las concentraciones encontradas en el interior de las edificaciones, siendo necesario hacer circular una gran cantidad de aire por el adsorbente para disponer de una concentración capaz de ser analizada, desvirtuándose las medidas. Además, estas medidas tienen que ser analizadas en laboratorio, y no responden o informan ante cambios instantáneos en la concentración circundante, lo cual dificulta la realización del tipo de análisis deseados en este trabajo de investigación.

Por ello, se planteó la utilización de la cromatografía de gases y espectrometría de masa (GC-MS) que puede ser realizada “in situ” por equipos portátiles, siendo realmente útil sólo para concentraciones en aire superiores o iguales a su límite de detección; de no ser así, será necesario concentrar la muestra previamente a su análisis, en perjuicio de la obtención de datos de manera instantánea, por lo que también se descarta.

De la misma manera que los sistemas GC-MS fijos o portátiles, los actuales sistemas de medida están mayoritariamente enfocados a la higiene industrial, diseñados para medir concentraciones elevadas con una alta especificidad en los tipos de contaminantes; por lo tanto, presentan una utilidad reducida en el presente estudio de análisis de calidad de aire en el interior de edificaciones bioclimáticas, donde los niveles de concentración manejados son significativamente inferiores que los valores de concentración encontrados en ambientes industriales.

A partir de la experiencia previa obtenida con los sistemas anteriores (ATD-GC-MS), se propone el uso de técnicas y metodologías de innovadora aplicación en análisis de confort ambiental: análisis por espectrometría de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR), y análisis por fotoionización (PID). Estos sistemas de medida se complementan con técnicas de contadores de partículas e IAQ, ya usadas previamente en análisis de calidad de aire interior. El desarrollo de prototipos y metodologías de análisis adecuados para los sistemas de medida propuestos se realiza a partir de equipos ya existentes basados en las técnicas citadas.

Los sistemas de medida planteados tienen la ventaja de medir “in situ” y en continuo, con límites de detección al nivel de 1-0,5 ppm, de manera mucho más ágil y flexible que los usados hasta ahora. Los trabajos que se desarrollan actualmente tienen como objetivo la validación de los equipos desarrollados, de manera que se pueda asegurar que las medidas cuantitativas obtenidas son reproducibles y fiables.

El desarrollo y utilización de la primera de estas técnicas (FTIR) presta atención especial a los siguientes aspectos:

- Aumento de sensibilidad, con límite inferior de detección de 0,5-1 ppm.
- Aumento de especificidad, de manera que se amplía el rango de compuestos que es capaz de detectar el prototipo. Se incluye un área de “incertidumbre”: si el sistema de medida detecta un compuesto, pero no se identifica en un primer análisis la naturaleza y composición, se marcará la zona de incertidumbre del espectro para tratar de identificarlo mediante estudios químicos complementarios. La base de datos del analizador podrá ser ampliada más adelante, con la carga de nuevos compuestos, de manera que incluya este compuesto no identificado para posteriores análisis.
- Los aparatos preexistentes se manejan de manera fija, pero la aplicación de confort ambiental exige portabilidad. Para ello, se incorporan unas baterías que garantizan la autonomía del sistema, se propone el uso de materiales más finos y ligeros, aunque más resistentes que los usados habitualmente (latón), así como la

incorporación de un adecuado sistema de transporte para un manejo fácil.

- Esta misma exigencia de portabilidad exige evolucionar la interfaz, de manera que se pase de un monitor fijo y estático, con conexión con el analizador por cable, a interfaz por PDA que recibe, almacena y muestra por pantalla, en tiempo real, los datos transmitidos desde el analizador gracias a una conexión por Bluetooth. Posteriormente, estos datos pueden ser cargados en un ordenador para su tratamiento y análisis.
- Facilidad de limpieza y fijado de la fuente de luz.

Por lo que respecta al análisis de las muestra por fotoionización (PID), un detector de fotoionización es, en esencia, un GC-MS en continuo, sin la columna de separación, por lo que presenta un tamaño reducido. El PID es un detector de espectro con alta sensibilidad, capaz de analizar una muestra o corriente de gas y determinar su concentración mediante técnicas de fotoionización. La detección por fotoionización ha sido muy utilizada en medidas de protección contra peligros de explosión y gases tóxicos y aplicaciones similares de prevención de riesgos laborales, siendo su aplicación en análisis de confort ambiental escasamente referenciada.

Los detectores por fotoionización son un método contrastado de medida de los compuestos orgánicos no volátiles en ambientes industriales. Estos instrumentos de lectura directa en continuo detectan niveles de concentración de VOCs muy bajos: el rango de medida de los PID es de 0-2000 ppm, con una resolución de 0,1 ppm, límites de detección muy adecuados a las actividades planteadas en este estudio de calidad de aire interior y confort dentro de las edificaciones bioclimáticas.

Los equipos de medición de partículas e IAQ son un complemento necesario a las técnicas descritas previamente, permitiendo obtener una medida integral de confort ambiental en continuo e "in situ". Esta técnica permite obtener medidas precisas de monóxido, dióxido de carbono, temperatura, y distintas características del aire como humedad, velocidad y temperatura de bulbo húmedo. El sistema es capaz de mostrar y almacenar hasta 5 medidas al tiempo. Se basa en técnicas ópticas para el cálculo de CO<sub>2</sub>, uso de termistores para el cálculo de temperaturas y sensor capacitivo de película delgada para los análisis de humedad relativa. Asimismo, se dispone de sensores de medida de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad en el interior de las edificaciones, midiendo de manera continua. Las medidas obtenidas con este equipo, ampliamente contrastado y usado en este tipo de análisis, permiten

contrastar las medidas recogidas con el detector FTIR, así como con los sensores fijos.

De los análisis efectuados en los distintos edificios/contenedores pueden deducirse algunas conclusiones que especificamos mediante un caso concreto:

[Véase gráficas 34 y 35; Xilenos y VOCs en Barredo el 19/08/09].

El equipo es capaz de diferenciar los tres contaminantes pese a su similitud estructural, es decir, no es la suma de los tres y se ve en sus tres distintas formas y no habría separación entre ellos.

Dada la observación de que en las zonas sujetas a estudio donde se ha acumulado el contaminante, no se observa que se hubiera limpiado la estancia, ello implica que la ventilación natural de esta edificación no llega a toda las estancias, siendo necesaria la utilización del sistema de climatización forzada haciendo uso de sus propios filtros de CO<sub>2</sub> para conseguir una atmósfera con las mismas condiciones que en el exterior.

Fijándonos en el fondo de escala de esta representación, está claro que en lo que a NOx se refiere, podemos afirmar que tanto la zona como la edificación están libres del mismo. Se observa sin embargo, que en la zona de mayor ocupación se detecta presencia de estos contaminantes, pero a medida que avanzamos la concentración es la misma que en el exterior, de lo que se puede deducirse que no hay aportes adicionales a la edificación, salvo que hubiera podido reaccionar a baja escala el nitrógeno no consumido para realizar el ajuste fino del equipo.

El mismo efecto observado en la temperatura se observa con la humedad y por los mismos motivos, pero en este caso el efecto es el contrario, al tener la calefacción funcionando, se puede deducir que ese descenso de humedad se debe a este efecto; sin embargo en la planta baja la recuperación de la humedad es notable, pero dista mucho de llegar a ser similar al que se mide en el exterior. De este hecho se puede deducir que la influencia de la climatización es para todo el interior de la edificación, aunque sólo afecte la calefacción en las zonas que esté directamente renovando el aire, sin embargo la deshidratación sí afecta al interior completo.

Tal y como representa el gráfico los Xilenos no suponen una contaminación, pero sí que refleja este gráfico cómo incluso en zonas de nula contaminación o muy ligera la representación de su concentración va acorde a lo esperado y describe una linealidad diferente para cada uno de ellos, donde en mayor o medida se observa el incremento o descenso de éstos, es decir, que si sumamos la evolución por tiempos independientes de ellos, no se observa un

global uniforme, si no que se observa una respuesta de incremento o descenso parejo en todos los casos.

En el análisis del metano, se observa como esta contaminación es continua a lo largo de todo el proceso de muestreo en la edificación, sin embargo no se observa variación alguna representativa de un descenso en la toma de muestras en el exterior, de lo que se deduce que dicha contaminación proviene del exterior y que el sistema de tratamiento de aire no interfiere en esta contaminación.

A la vista de los resultados observados en las campañas de muestreo realizadas en las cinco edificaciones, se puede concluir que la edificación energética es más saludable para los ocupantes de estas, ya que sus niveles de contaminación son muy bajos. Dado que la construcción de una edificación constituye un aporte de contaminantes a ésta y suele limpiarse a lo largo del primer año (en el cual la calidad de aire en su interior es muy pobre) para luego padecer del conocido síndrome del edificio enfermo, ya descrito; con los sistemas de ventilación y climatización de las edificaciones bioclimáticas, no se ha observado este fenómeno. Ello conlleva a pensar que en futuros estudios de este mismo campo tampoco se observara el envejecimiento de la edificación, ni dicho síndrome; argumento que motiva la continuación de estos estudios.

Al igual que los grandes consumos energéticos en el uso final de oficinas y viviendas, el empeoramiento general de las condiciones de confort ambiental y calidad de aire en el interior de estos edificios, con la aparición del síndrome del edificio enfermo, es un problema que no puede ser obviado en los nuevos planteamientos arquitectónicos que se vienen postulando en los últimos años, englobados en la conocida como arquitectura bioclimática.

Debido al alto porcentaje de tiempo que pasa un ciudadano medio en el interior de estas edificaciones, la construcción de un entorno confortable y adecuado ambientalmente a las actividades que se desarrollan en su interior revierte positivamente en la salud de los habitantes. Se ha demostrado en diversos estudios que una deficiente ventilación en las escuelas revierte negativamente en la concentración y rendimiento de los estudiantes. El desarrollo de edificaciones no sólo eficientes energéticamente, sino con una correcta ventilación y composición de aire interior y un confort ambiental adecuado, es el principal objetivo del PSE-Arfrisol.

En un primer acercamiento experimental a la evaluación de la calidad de aire en los contenedores – demostradores de Investigación desarrollados, CD-dl Arfrisol, se hace uso de las técnicas, ampliamente contrastadas, de muestreo sobre soporte físico seguido por desorción térmica y análisis GC – MS. Estos

análisis realizados, al ser comparadas con edificios convencionales de similar superficie y emplazamiento, indican una menor contaminación ambiental en el interior de estas edificaciones bioclimáticas, lo cual implica que el cuidado en el desarrollo de los sistemas de ventilación, el uso de materiales adecuados y la correcta planificación arquitectónica recogidos en la construcción de los CD-DI influyen positivamente en el confort ambiental y la composición del aire interior de estas edificaciones.

Sin embargo, estas técnicas de análisis manejadas no han permitido realizar adecuadas medidas de cuantificación de contaminantes para la correcta evaluación de confort ambiental. Esta limitación se debe principalmente a fallos en el sistema de toma de muestras y tratamiento previo a identificación; el sistema de medida era adecuado desde el punto de vista cualitativo, pero no presentaba análisis cuantitativos fiables o válidos a las concentraciones manejadas.

Para poder evaluar más profundamente las condiciones de salubridad sensitiva y confort ambiental en el presente proyecto de investigación, es imprescindible analizar cuantitativamente la concentración interior de VOCs. El correcto empleo de la metodología y los complementarios sistemas de análisis desarrollados en el proyecto, permite una completa caracterización de estos interiores, de manera que se puede evaluar cuantitativamente la mejora respecto a las edificaciones convencionales y se sientan las bases para estudios de mejora del confort ambiental en estos interiores, esperándose abrir camino para futuras actividades de I+D.

# 7

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Lebuy F. Comparativa de la legislación en cuanto a higiene de la ventilación y tratamiento de sistemas de climatización. II Conferencia internacional ICVH-EVHA-AELSA. Madrid, Oct. 2001.
- [2] Molhave, L.; Bach, R.; Pederson, O. Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. *Environ. Inter.* 1986, 12, 167-175.
- [3] Robinson. J.; Nelson, W.C., National Human Activity. Pattern Survey Data Base. United States EPA, Research Triangle Park, NC. 1995.
- [4] Platts-Mills, T.A.E., Woodfolk, J.A., Chapman, M.D., Heymann, P.W., Changing concepts of allergic disease: the attempt to keep up with real changes in lifestyles. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 98 (Suppl), S27-S306. 1996.
- [5] Teichman, K.Y., Indoor air quality: research needs. *Occupational Medicine* 10 (1), 217-227. 1995.
- [6] Baek, S., Kim, Y., and Perry, R. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas –indoor/outdoor relationships. *Atmospheric Environment* Vol. 31, 1997.
- [7] Berenguer M<sup>a</sup> José y col. El síndrome del edificio enfermo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. 1999.
- [8] Online Hourly Determination of 62 VOCs in Ambient Air: System Evaluation and Comparison with Another Two Analytical Techniques. 2002. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad del País Vasco, Bilbao.
- [9] Berenguer, M<sup>a</sup> José y col. NTP 345: El control de la ventilación mediante gases trazadores. Inst Nac.de Seg. E Higiene en el trabajo.
- [10] ADENE. Edifícios Existentes - Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética. Lisboa: Adene - Agência para a Energia, 2009.
- [11] ADENE. Nota Técnica (NT-SCE-02). Retrieved October 1, 2009, from ADENE, 2009b: [http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/039E8147-8487-4303-96DD-6751687486F4/1187/NT\\_SCE02\\_Out09.pdf](http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/039E8147-8487-4303-96DD-6751687486F4/1187/NT_SCE02_Out09.pdf)
- [12] Arsan, Z., & Sökmen, N. Monitoring and simulating a private house for building performance analysis. BAUSIM 2010 (pp. 196-202). Vienna: Vienna University of Technology (ISBN: 978-3-85437-317-9), 2010.

- [13] Asadi, E. et al. Indoor Air Quality Audit and Certification of Buildings in Portugal. Clima 2010 (pp. R8-TS40-0P03). Turkey: REHVA, 2010.
- [14] Suggs JA, Beam EW, Biggs DE, Collins Jr. W, Dusenbury MR, MacLeish PP, et al. Guidelines and Resources for Conducting an Environmental Crime Investigation in the United States. Environmental Forensics. 2002; 3: 91-113.
- [15] USEPA Criminal Enforcement. Environmental Laboratory Forensics. Available at:  
<http://www.epa.gov/compliance/criminal/forensics/laboratory/index.html>. Accessed August 10, 2004.
- [16] GPO Access. Code of Federal Regulations: Main Page. Available at:  
<http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>. Accessed August 6, 2004.
- [17] USEPA Office of Research and Development (ORD). About ORD. Available at: <http://www.epa.gov/ord/htm/aboutord.htm>. Accessed July 21, 2004.
- [18] Executive Office of the President of the United States. Office of Management and Budget. Circular No. A-119. Federal Participation in the Development and Use of Voluntary Consensus Standards and in Conformity Assessment Activities. Available at:  
<http://www.whitehouse.gov/omb/circulars/a119/a119.html>. Accessed July 21, 2004.
- [19] National Technology Transfer and Advancement Act of 1995 (NTTAA). Public Law 104-113. Available at: <http://ts.nist.gov/ts/htdocs/210/nttaa/113.htm>. Accessed July 21, 2004.
- [20] Schonfeld R, Dobinson J. Using International Standards: A Wake Up Call to Regulators? ASTM International. Available at: [http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/SNEWS/JANUARY\\_2004/schondob\\_jan04.html?L+mystore+omz\\_y6645+1088635588](http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/SNEWS/JANUARY_2004/schondob_jan04.html?L+mystore+omz_y6645+1088635588). Accessed July 21, 2004.
- [21] American National Standards Institute. Available at:  
<http://www.ansi.org/default.aspx>. Accessed July 21, 2004.
- [22] Toth RB, ed. Standards Activities of Organizations in the United States. Gaithersburg (MD): US Department of Commerce, Technology Administration. National Institute of Standards and Technology; 1996. NIST Special Publication; No. 806.
- [23] NSSN: A National Resource for Global Standards. Available at:  
<http://www.nssn.org>. Accessed July 21, 2004.
- [24] NSSN: Developers Overview. Available at: <http://www.nssn.org/acrodesc.html>. Accessed July 21, 2004.
- [25] Breitenburg MA. US National Institute of Standards and Technology, Office of Standards Services (NIST OSS). The ABC's of the U.S. Conformity

- Assessment System. Available at:  
<http://ts.nist.gov/ts/htdocs/210/ncsci/primer.htm>. Accessed July 21, 2004.
- [26] ISO--International Organization for Standardization. Available at:  
<http://www.iso.org/iso/en/ISOOnline.frontpage>. Accessed July 22, 2004.
- [27] ASTM International. Technical Committees. ASTM Committees by Title. Available at:  
<http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/COMMIT/alpha.html?L+mystore+cgtm8929+1091831343>. Accessed August 6, 2004.
- [28] ASTM International--Standards Worldwide. Available at: <http://www.astm.org>. Accessed July 22, 2004.
- [29] USEPA Measurement Science. Forum on Environmental Measurements. Available at: <http://www.epa.gov/OSA/fem/htm/fem.htm>. Accessed July 21, 2004.
- [30] USEPA Test Methods: SW-846 On-Line. Available at: <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm>. Accessed July 21, 2004.
- [31] US Government Printing Office. GPO Access. Available at: <http://www.gpoaccess.gov/>. Accessed August 6, 2004.
- [32] US Department of Commerce. NTIS--National Technical Information Service. Available at: <http://www.ntis.gov/>. Accessed August 6, 2004.
- [33] Methods and Guidance for the Analysis of Water, Version 2 (on CD-ROM). USEPA Office of the Assistant Administrator for Water. Available at: <http://www.ntis.gov/search/product.asp?ABBR=PB99500209&starDB=GRAHIST>. Accessed July 21, 2004.
- [34] Yeskis D, Zavala B. Ground-Water Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers. USEPA Office of Solid Waste and Emergency Response (OSWER). Available at: [http://www.epa.gov/tio/tsp/download/gw\\_sampling\\_guide.pdf](http://www.epa.gov/tio/tsp/download/gw_sampling_guide.pdf). Accessed July 21, 2004.
- [35] Superfund Program Representative Sampling Guidance, Volume 1: Soil. USEPA Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Emergency and Remedial Response (OSWER OERR). Available at: [http://clu-in.org/download/char/SF\\_Rep\\_Samp\\_Guid\\_soil.pdf](http://clu-in.org/download/char/SF_Rep_Samp_Guid_soil.pdf). Accessed July 21, 2004.
- [36] Superfund Program Representative Sampling Guidance, Volume 2: Air (Short-Term Monitoring). USEPA Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Emergency and Remedial Response (OSWER OERR). Available at: [http://clu-in.org/download/char/SF\\_Rep\\_Samp\\_Guid\\_air.pdf](http://clu-in.org/download/char/SF_Rep_Samp_Guid_air.pdf). Accessed July 21, 2004.

- [37] Superfund Program Representative Sampling Guidance, Volume 3: Biological. USEPA Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Emergency and Remedial Response (OSWER OERR). Available at: [http://clu-in.org/download/char/SF\\_Rep\\_Samp\\_Guid\\_bio.pdf](http://clu-in.org/download/char/SF_Rep_Samp_Guid_bio.pdf). Accessed July 21, 2004.
- [38] Superfund Program Representative Sampling Guidance, Volume 4: Waste. USEPA Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Emergency and Remedial Response (OSWER OERR). Available at: [http://clu-in.org/download/char/SF\\_Rep\\_Samp\\_Guid\\_waste.pdf](http://clu-in.org/download/char/SF_Rep_Samp_Guid_waste.pdf). Accessed July 21, 2004.
- [39] Superfund Program Representative Sampling Guidance, Volume 5: Water and Sediment. Part I - Surface Water and Sediment. USEPA Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Emergency and Remedial Response (OSWER OERR). Available at: [http://clu-in.org/download/char/SF\\_Rep\\_Samp\\_Guid\\_water.pdf](http://clu-in.org/download/char/SF_Rep_Samp_Guid_water.pdf). Accessed July 21, 2004.
- [40] USEPA Technology Innovation Program. Hazardous Waste Clean-Up Information (CLU-IN). Available at: <http://www.clu-in.org>. Accessed August 6, 2004.
- [41] Sources of USEPA Test Methods. Available at: <http://www.epa.gov/epahome/index/sources.htm>. Accessed July 21, 2004.
- [42] Nelson P. Index to EPA Test Methods, April 2003 revised edition. USEPA New England Region 1 Library. Available at: <http://www.epa.gov/region01/oarm/testmeth.pdf>. Accessed July 21, 2004.
- [43] Manahan SE. Fundamentals of Environmental Chemistry. 2nd ed. Boca Raton (FL): Lewis Publishers; 2001.
- [44] Schwarzenbach RP, Gschwend PM, Imboden DM. Environmental Organic Chemistry. 2nd ed. Hoboken (NJ): Wiley-Interscience, 2003.
- [45] Smith KA, Cresser MS, eds. Soil and Environmental Analysis: Modern Instrumental Techniques. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, Inc.; 2004.
- [46] Murphy BL, Morrison RD, eds. Introduction to Environmental Forensics. San Diego: Academic Press; 2002.
- [47] de Laeter JR. Applications of Inorganic Mass Spectrometry. New York: Wiley-Interscience; 2001.
- [48] Tsuji K, Injuk J, Van Grieken R, eds. X-Ray Spectrometry: Recent Technological Advances. West Sussex (UK): John Wiley & Sons Ltd; 2004.
- [49] Budde WL. Analytical Mass Spectrometry: Strategies for Environmental and Related Applications. New York: Oxford University Press; 2001.

- [50] Kettrup A, ed. *Analyses of Hazardous Substances in Air*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2003; No. 8.
- [51] Crompton TR. *Preconcentration Techniques for Natural and Treated Waters: High Sensitivity Determination of Organic and Organometallic Compounds, Cations and Anions*. London: Spon Press; 2003.
- [52] Craig PJ, ed. *Organometallic Compounds in the Environment*. 2nd ed. West Sussex (UK): John Wiley & Sons Ltd; 2003.
- [53] *Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals*. Vol 1. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd.; 2003.
- [54] *Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals*. Vol 2. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd.; 2003.
- [55] Hsu CS, ed. *Analytical Advances for Hydrocarbon Research*. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers; 2003. *Modern Analytical Chemistry*.
- [56] Rand SJ, ed. *Significance of Tests for Petroleum Products*. 7th ed. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2003.
- [57] Richardson SD. *Environmental Mass Spectrometry: Emerging Contaminants and Current Issues*. *Analytical Chemistry*. 2004;76: 3337-3364.
- [58] Hill SJ, Arowolo TA, Butler OT, Cook JM, Cresser MS, Harrington C, et al. *Atomic Spectrometry Update. Environmental Analysis*. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2004; 19:301-330.
- [59] Koester CJ, Simonich SL, Esser BK. *Environmental Analysis*. *Analytical Chemistry*. 2003;75:2813-2829.
- [60] Hill SJ, Arowolo TA, Butler OT, Cook JM, Cresser MS, Harrington C, et al. *Atomic Spectrometry Update. Environmental Analysis*. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2003; 18:170-202.
- [61] Richardson SD. *Environmental Mass Spectrometry: Emerging Contaminants and Current Issues*. *Analytical Chemistry*. 2002;74:2719-2742.
- [62] Sliwka-Kaszynska M, Kot-Wasik A, Namiesnik J. *Preservation and Storage of Water Samples*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2003;33:31-44.
- [63] Yu L-P, Yan X-P. *Factors Affecting the Stability of Inorganic and Methylmercury During Sample Storage*. *Trends in Analytical Chemistry*. 2003;22:245-253.
- [64] Smith RM. *Before the Injection--Modern Methods of Sample Preparation for Separation Techniques*. *Journal of Chromatography A*. 2003;1000:3-27.

- [65] Simon J, Kirchhoff A, Gültzow O. Advanced Sample Pretreatment for the Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Extractable Organic Halogens in Waste Water. Flow Based Procedures with Chromatomembrane Cells. *Talanta*. 2002;58:1335-1341.
- [66] Rigol A, Lacorte S, Barceló D. Sample Handling and Analytical Protocols for Analysis of Resin Acids in Process Waters and Effluents from Pulp and Paper Mills. *Trends in Analytical Chemistry*. 2003;22:738-749.
- [67] Filgueiras AV, Lavilla I, Bendicho C. Chemical Sequential Extraction for Metal Partitioning in Environmental Solid Samples. *Journal of Environmental Monitoring*. 2002;4:823-857.
- [68] Sahuquillo A, Rigol A, Rauret G. Comparison of Leaching Tests for the Study of Trace Metals Remobilisation in Soils and Sediments. *Journal of Environmental Monitoring*. 2002;4:1003-1009.
- [69] Greenway GM, Song QJ. An Ultrasound Accelerated Sequential Extraction Method and Its Application for Element Partitioning Studies in Compost from Mixed Waste Streams. *Journal of Environmental Monitoring*. 2002;4:950-955.
- [70] Ashley K, Andrews RN, Cavazos L, Demange M. Ultrasonic Extraction as a Sample Preparation Technique for Elemental Analysis by Atomic Spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2001;16:1147-1153.
- [71] Luque-García JL, Luque de Castro MD. Ultrasound: A Powerful Tool for Leaching. *Trends in Analytical Chemistry*. 2003;22:41-47.
- [72] Prabhakaran D, Subramanian MS. A New Chelating Sorbent for Metal Ion Extraction Under High Saline Conditions. *Talanta*. 2003;59:1227-1236.
- [73] Rawa-Adkonis M, Wolska L, Namiesnik J. Modern Techniques of Extraction of Organic Analytes from Environmental Matrices. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2003;33:199-248.
- [74] Koziel JA, Martos PA, Pawliszyn J. System for the Generation of Standard Gas Mixtures of Volatile and Semi-Volatile Organic Compounds for Calibrations of Solid-Phase Microextraction and Other Sampling Devices. *Journal of Chromatography A*. 2004;1025:3-9.
- [75] Kim H, Nochetto C, McConnell LL. Gas-Phase Analysis of Trimethylamine, Propionic and Butyric Acids, and Sulfur Compounds Using Solid-Phase Microextraction. *Analytical Chemistry*. 2002; 74:1054-1060.
- [76] Koziel JA, Odziemkowski M, Pawliszyn J. Sampling and Analysis of Airborne Particulate Matter and Aerosols Using In-Needle Trap and SPME Fiber Devices. *Analytical Chemistry*. 2001;73:47-54.

- [77] Xiong G, Pawliszyn J. Microwave-Assisted Generation of Standard Gas Mixtures. *Analytical Chemistry*. 2002;74:2446-2449.
- [78] Richardson SD. Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. *Analytical Chemistry*. 2003; 75:2831-2857.
- [79] Schmidt TC. Analysis of Methyl tert-Butyl Ether (MTBE) and tert-Butyl Alcohol (TBA) in Ground and Surface Water. *Trends in Analytical Chemistry*. 2003; 22:776-784.
- [80] Gimeno RA, Marcé RM, Borrull F. Determination of Organic Contaminants in Coastal Water. *Trends in Analytical Chemistry*. 2004;23:341-350.
- [81] López MCC. Determination of Potentially Bioaccumulating Complex Mixtures of Organochlorine Compounds in Wastewater: A Review. *Environment International*. 2003;28:751-759.
- [82] de la Riva BSV, Costa-Fernández JM, Pereiro R, Sanz-Medel A. Spectra fluorimetric Method for the Rapid Screening of Toxic Heavy Metals in Water Samples. *Analytica Chimica Acta*. 2002;451:203-210.
- [83] Serrano A, Gallego M. Direct Screening and Confirmation of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes in Water. *Journal of Chromatography A*. 2004;1045:181-188.
- [84] Hernández F, Sancho JV, Pozo O, Lara A, Pitarch E. Rapid Direct Determination of Pesticides and Metabolites in Environmental Water Samples at Sub- $\mu\text{g/l}$  Level by On-Line Solid-Phase Extraction-Liquid Chromatography-Electrospray Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 2001;939:1-11.
- [85] Berrada H, Font G, Moltó JC. Determination of Urea Pesticide Residues in Vegetable, Soil, and Water Samples. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2003;33:19-41.
- [86] Zhu Q-Z, Degelmann P, Niessner R, Knopp D. Selective Trace Analysis of Sulfonylurea Herbicides in Water and Soil Samples Based on Solid-Phase Extraction Using a Molecularly Imprinted Polymer. *Environmental Science&Technology*. 2002;36:5411-5420.
- [87] Valverde A, Aguilera A, Rodríguez M, Boulaid M. What Are We Determining Using Gas Chromatographic Multiresidue Methods: Tralomethrin or Deltamethrin? *Journal of Chromatography A*. 2001;943:101-111.
- [88] Yao Z-w, Jiang G-b, Liu J-m, Cheng W. Application of Solid-Phase Microextraction for the Determination of Organophosphorus Pesticides in Aqueous Samples by Gas Chromatography with Flame Photometric Detector. *Talanta*. 2001;55:807-814.

- [89] Pérez-Trujillo JP, Frías S, Conde JE, Rodríguez-Delgado MA. Comparison of Different Coatings in Solid-Phase Microextraction for the Determination of Organochlorine Pesticides in Ground Water. *Journal of Chromatography A*. 2002; 963:95-105.
- [90] Ramesh A, Ravi PE. Applications of Solid-Phase Microextraction (SPME) in the Determination of Residues of Certain Herbicides at Trace Levels in Environmental Samples. *Journal of Environmental Monitoring*. 2001;3:505-508.
- [91] Mastovská K, Lehotay SJ. Evaluation of Common Organic Solvents for Gas Chromatographic Analysis and Stability of Multiclass Pesticide Residues. *Journal of Chromatography A*. 2004;1040:259-272.
- [92] Covaci A, Voorspoels S, de Boer J. Determination of Brominated Flame Retardants, with Emphasis on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Environmental and Human Samples--A Review. *Environment International*. 2003;29:735-756.
- [93] Polo M, Gómez-Noya G, Quintana JB, Llompart M, García-Jares C, Cela R. Development of a Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography/Tandem Mass Spectrometry Method for Polybrominated Diphenyl Ethers and Polybrominated Biphenyls in Water Samples. *Analytical Chemistry*. 2004;76:1054-1062.
- [94] Harju M, Danielsson C, Haglund P. Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography of the 209 Polychlorinated Biphenyls. *Journal of Chromatography A*. 2003;1019:111-126.
- [95] Yang JS, Jeong JH, Lee DW, Chang Y-S. Effect of Solvent and Temperature on Extraction of Polychlorinated Biphenyls and Polychlorinated Dibenzodioxins from Fly Ash. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*. 2001;24:2815-2825.
- [96] Chernetsova ES, Revelsky AI, Revelsky IA, Mikhasenko IA, Sobolevsky TG. Determination of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins, Dibenzofurans, and Biphenyls by Gas Chromatography/Mass Spectrometry in the Negative Chemical Ionization Mode with Different Reagent Gases. *Mass Spectrometry Reviews*. 2002;21:373-387.
- [97] Michalke B. The Coupling of LC to ICP-MS in Element Speciation - Part II: Recent Trends in Application. *Trends in Analytical Chemistry*. 2002;21:154-165.
- [98] Rosen AL, Hieftje GM. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and Electrospray Mass Spectrometry for Speciation Analysis: Applications and Instrumentation. *Spectrochimica Acta Part B*. 2004;59:135-146.
- [99] Pohl P, Prusisz B. Ion-Exchange Column Chromatography--An Attempt to Speciate Arsenic. *Trends in Analytical Chemistry*. 2004;23:63-69.

- [100] Krachler M, Emons H, Zheng J. Speciation of Antimony for the 21<sup>st</sup> Century: Promises and Pitfalls. *Trends in Analytical Chemistry*. 2001;20:79-90.
- [101] Moldovan M, Krupp EM, Holliday AE, Donard OFX. High Resolution Sector Field ICP-MS and Multicollector ICP-MS as Tools for Trace Metal Speciation in Environmental Studies: A Review. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2004;19:815-822.
- [102] B'Hymer C, Caruso JA. Arsenic and Its Speciation Analysis Using High-Performance Liquid Chromatography and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 2004;1045:1-13.
- [103] Wuilloud JCA, Wuilloud RG, Vonderheide AP, Caruso JA. Gas Chromatography/Plasma Spectrometry--An Important Analytical Tool for Elemental Speciation Studies. *Spectrochimica Acta Part B*. 2004;59:755-792.
- [104] Wrobel K, Kannamkumarath S, Wrobel K, Caruso JA. Environmentally Friendly Sample Treatment for Speciation Analysis by Hyphenated Techniques. *Green Chemistry*. 2003;5:250-259.
- [105] Montperrus M, Bohari Y, Bueno M, Astruc A, Astruc M. Comparison of Extraction Procedures for Arsenic Speciation in Environmental Solid Reference Materials by High-Performance Liquid Chromatography-Hydride Generation-Atomic Fluorescence Spectroscopy. *Applied Organometallic Chemistry*. 2002;16:347-354.
- [106] Kappes T, Galliker B, Schwarz MA, Hauser PC. Portable Capillary Electrophoresis Instrument with Amperometric, Potentiometric and Conductometric Detection. *Trends in Analytical Chemistry*. 2001;20:133-139.
- [107] Potts PJ, Ramsey MH, Carlisle J. Portable X-ray Fluorescence in the Characterisation of Arsenic Contamination Associated with Industrial Buildings at a Heritage Arsenic Works Site Near Redruth, Cornwall, UK. *Journal of Environmental Monitoring*. 2002;4:1017-1024.
- [108] Hook GL, Kimm GL, Hall T, Smith PA. Solid-Phase Microextraction (SPME) for Rapid Field Sampling and Analysis by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). *Trends in Analytical Chemistry*. 2002;21:534-543.
- [109] Diaz JA, Daley P, Miles R, Rohrs H, Polla D. Integration Test of a Miniature ExB Mass Spectrometer with a Gas Chromatograph for Development of a Low-Cost, Portable, Chemical-Detection System. *Trends in Analytical Chemistry*. 2004;23:314-321.
- [110] Clark II CJ. Field Detector Evaluation of Organic Clay Soils Contaminated with Diesel Fuel. *Environmental Forensics*. 2003;4:167-173.
- [111] Palanco S, Alises A, Cuñat J, Baena J, Laserna JJ. Development of a Portable Laser-Induced Plasma Spectrometer with Fully Automated

- Operation and Quantitative Analysis Capabilities. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2003;18:933-938.
- [112] Lu C-J, Whiting J, Sacks RD, Zellers ET. Portable Gas Chromatograph with Tunable Retention and Sensor Array Detection for Determination of Complex Vapor Mixtures. *Analytical Chemistry*. 2003;75:1400-1409.
- [113] Whiting J, Sacks R. Selectivity Enhancement for High-Speed GC Analysis of Volatile Organic Compounds with Portable Instruments Designed for Vacuum-Outlet and Atmospheric-Pressure Inlet Operation Using Air as the Carrier Gas. *Analytical Chemistry*. 2002;74:246-252.
- [114] Patterson GE, Guymon AJ, Riter LS, Everly M, Griep-Raming J, Laughlin BC, et al. Miniature Cylindrical Ion Trap Mass Spectrometer. *Analytical Chemistry*. 2002;74:6145-6153.
- [115] Callahan MR, Kaltenbacher EA, Byrne RH. In-Situ Measurements of Cu in an Estuarine Environment Using a Portable Spectrophotometric Analysis System. *Environmental Science & Technology*. 2004;38:587-593.
- [116] Eckenrode BA. Environmental and Forensic Applications of Field-Portable GC-MS: An Overview. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*. 2001;12:683-693.
- [117] Syage JA, Nies BJ, Evans MD, Hanold KA. Field-Portable, High-Speed GC/TOFMS. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*. 2001;12:648-655.
- [118] Hill SJ, Arowolo TA, Butler OT, Chenery SRN, Cook JM, Cresser MS, et al. Atomic Spectrometry Update. Environmental Analysis. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2002; 17:284-317.
- [119] Evans EH, Day JA, Fisher A, Price WJ, Smith CMM, Tyson JF. Atomic Spectrometry Update. Advances in Atomic Emission, Absorption and Fluorescence Spectrometry and Related Techniques. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2004;19:775-812.
- [120] Evans EH, Day JA, Price WJ, Smith CMM, Sutton K, Tyson JF. Atomic Spectrometry Update. Advances in Atomic Emission, Absorption and Fluorescence Spectrometry and Related Techniques. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2003;18:808-833.
- [121] Evans EH, Dawson JB, Fisher A, Price WJ, Smith CMM, Tyson JF. Advances in Atomic Emission, Absorption and Fluorescence Spectrometry and Related Techniques. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2002;17:622-651.

## ANEXO I

### ASPECTOS NORMATIVOS

Como se ha señalado anteriormente, la concentración de los contaminantes que se encuentran en el interior de los edificios puede afectar a la salud y la confortabilidad de sus inquilinos. A fin de diseñar ambientes interiores saludables, algunas agencias, gubernamentales o no, han desarrollado guías y estándares diversos. La tabla siguiente recoge las más importantes a nivel mundial.

#### Agencias y organizaciones con Guías sobre CAI

Acrónimo	Organización
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Estados Unidos)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Estados Unidos) Building Information Foundation (Finlandia)
CRI	Carpet and Rug Institute
CSA	Canadian Standard Association (Canada)
DFG	Deutsche Forschungs Gemeinschaft (Alemania)
DSIC	Danish Society of Indoor Climate (Dinamarca)
EPA	U.S. Environmental Protection Agency (Estados Unidos)
GEI	GreenGuard Environmental Institute
GEV	Gemeinschaft Emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe (Alemania) Umweltbundesamt (UBA), Indoor Air Hygiene Commission (IRK) (Alemania)
HRSDC	Human Resources and Skill Development (Canada)
MHLW	Ministry of Health, Labour and Welfare (Japón)
NFICL	Norwegian Forum of Indoor Climate Labeling (Noruega)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (Estados Unidos)
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment (California EPA)
OSHA	Occupational Health and Safety Administration (Estados Unidos)
SCS	Scientific Certification Systems TerraChoice Environmental Services The Government of the Hong Kong Special Administrative Region (Hong Kong-China)
OMS	Organización Mundial de la Salud

Los estándares y las guías enfoques diferentes. Algunos de ellos se fundamentan en los resultados de estudios científicos, otros derivan de la experiencia práctica o son el resultado de grupos de trabajo o diferentes consensos basados en el conocimiento disponible. Algunos estándares se

centran en la confortabilidad y en evitar los síntomas irritativos y/o problemas de olor, mientras que otros están basados en el concepto de salud. Algunos estándares y guías se desarrollaron para el campo industrial, donde las concentraciones de contaminante probablemente serán relativamente altas, mientras que otros se crearon para edificios no industriales como oficinas y casas. Algunos estándares y guías tiene validez legal y otra solamente son recomendaciones de cumplimiento voluntario.

Descripción de los organismos implicados en la elaboración de estándares y guías de CAI:

1. NAAQS/EPA: Los National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) fueron desarrollados por la Environmental Protection Agency (EPA). Estos estándares se desarrollaron para la calidad del aire exterior pero también son aplicables para niveles de contaminación interior. La EPA establece dos tipos de estándares para la calidad del aire: Los estándares primarios, que fijan límites destinados a proteger la salud pública, incluyendo a la población más sensible tal como asmáticos, niños y ancianos, y los estándares secundarios que fijan límites para proteger el bienestar de la población y que, también, incluyen protección frente a u a disminución de la visibilidad, daños a los animales, cosechas, vegetación y edificios. Por ley, estos valores deben ser revisados cada cinco años.

2. OSHA: La Occupational Health and Safety Administration estadounidense (OSHA) estableció valores para exposiciones máximas en el medio ambiente industrial. Los Permissible Exposure Limits (PELs) se definieron para la protección del trabajador medio sin considerar los fenómenos de sensibilización.

3. MAK: Los niveles MAK se desarrollaron en Alemania por la Deutsche Forschungs Gemeinschaft (DFG), institución equivalente a la OSHA/NIOSH americanas o al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene (INSHT) español. Los límites se aplican en Alemania.

4. Canadá: Las exposiciones máximas se desarrollaron en 1987 y se revisaron en 1995. Las guías se elaboraron, mediante consenso, por un comité gubernamental canadiense.

5. OMS: Organización Mundial de la Salud (OMS) Oficina Europea, con sede en Dinamarca, desarrolló pautas para utilizarse en ambientes no industriales. Se establecieron en 1987 y se actualizaros en 1999. Sirven para ambientes interiores y exteriores.

6. NIOSH: El National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ha desarrollado las exposiciones máximas para ambientes industriales para Estados Unidos. Los Recommended Exposure Limits (RELs) se acompañan de documentación para su aplicación y bibliografía relevante.

7. ACGIH: La American Council of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) recomienda los diferentes tipos Threshold Limit Values (TLV ®) como exposiciones máximas para ambientes industriales. Los TLVs se elaboran mediante diferentes grupos de trabajo que analizan la información científica existente y los actualizan cada dos años.

8. COSHR: La Canadian Occupational Safety and Health Regulations (COSHR), que establece niveles para el medio laboral, es parte del Canadian Labour Code. Dentro del contexto de la calidad de aire de interior acepta los niveles de la ACGIH. Los valores COSHR son exigibles para las organizaciones del Gobierno Federales Canadiense y son recomendaciones para otras instituciones canadienses.

9. Alemania: Entre 1996 y 2004, la Comisión de Higiene de Aire de Interior de la Agencia Ambiental Federal (IRK) y el Grupo de Trabajo de los Ministros de Salud de los Länder (AOLG) estableció valores pauta de calidad de aire de interior para 11 sustancias individuales y compuestos orgánicos volátiles totales para edificios no industriales. Las pautas consisten en dos niveles: Valor Guía II (RW II) y Valor Guía I (RW I). El Valor Guía II (RW II) se basa en el conocimiento toxicológico y epidemiológico de una sustancia, marcando un nivel que, de ser alcanzado, implica la toma de medidas inmediatas. El Valor de Guía I (RW I) es la concentración de una sustancia en el aire interior para cual, considerada individualmente, no hay evidencia actual de que a largo plazo pueda producir efectos adversos para la salud.

En *España* disponemos, para su aplicación en el medio laboral, los Valores Límites Ambientales. En 1995 se constituyó un grupo de trabajo por el INSHT que publicó un documento inicial en 1999, al que siguen actualizaciones anuales. Con estos valores se atendía a la obligación de la Directiva 98/24/CE imponía a los Estados miembros de establecer límites de exposición profesional. La Directiva se traspuso al ordenamiento jurídico español mediante el REAL DECRETO 374/2001, que derogaba los límites de exposición del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas. Los valores adoptados se consideran valores de referencia apropiados para los agentes químicos que carezcan de valores límite reglamentarios.

El siguiente cuadro sintetiza la normativa, más relevante y reciente, relacionada con el tema de CAI:

#### Antes de 2000

**Ley 38/1972**, de 22 de diciembre, de protección del Ambiente Atmosférico, desarrollada mediante el R.D. 833/1975, de 6 de febrero, regula los niveles de inmisión y emisión. Este decreto ha sido parcialmente modificado para adaptarlo a las exigencias de la normativa comunitaria.

**Decreto 3205/1974**, de 9 de agosto, sobre Limitación de la Contaminación Atmosférica producida por vehículos de automoción.

**Orden de 10 de agosto de 1976**, por la que se establecen las normas técnicas para el análisis y valoración de contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera.

**Orden de 18 de octubre de 1976**, del Ministerio de Industria, sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera

**Real Decreto 2512/1978**, de 14 de Octubre para aplicación del artículo 11 de la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico (beneficios para la puesta en práctica de medidas correctoras).

**Real Decreto 547/1979**, de 20 de febrero, sobre modificación del anexo IV del Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se declara la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico.

**Real Decreto 1613/1985**, de 1 de agosto, por el que se modifica parcialmente el Decreto 833/1975, de 6 de febrero, y se establecen nuevas normas de calidad del aire en lo referente a contaminación por dióxido de azufre y partículas.

**Real Decreto 2616/1985**, de 9 de octubre, sobre homologación de vehículos automóviles de motor, en lo que se refiere a su emisión de gases contaminantes.

**Real Decreto 2482/1986**, de 25 de septiembre, por el que se modifica el Decreto 2204/1975, de 23 de agosto, y se fijan especificaciones de gasolinas, gasóleos y fuelóleos en concordancia con la CEE.

**Real Decreto 717/1987**, de 27 de mayo, sobre contaminación atmosférica por dióxido de nitrógeno y plomo: Normas de calidad del ambiente.

**Orden de 3 de septiembre de 1990**, sobre el cumplimiento de la Directiva 88/76/CEE sobre emisiones de gases de escape procedentes de vehículos automóviles.

**Real Decreto 646/1991**, de 22 de abril, por el que se establecen nuevas normas sobre limitación a las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión.

## Antes de 2000

**Real Decreto 1088/1992**, de 11 de septiembre de 1992, por el que se establece un régimen especial para prevenir la contaminación atmosférica procedentes de las nuevas instalaciones de incineración de residuos municipales, así como reducir la ocasionada por las instalaciones existentes.

**Real Decreto 1321/1992**, de 30 de octubre, por que se modifica parcialmente el Real Decreto 1613/1985, de 1 de agosto, y se establecen nuevas normas de calidad del aire en lo referente a la contaminación por dióxido de azufre y partículas.

**Real Decreto 1494/1995**, de 8 de septiembre, sobre contaminación atmosférica por ozono.

**Real Decreto 2102/1996**, de 20 de septiembre sobre control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio.

**Real Decreto 486/1997**, de 23 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

**Real Decreto 664/1997**, de 12 de mayo, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

**Real Decreto 665/1997**, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

**Real Decreto 1217/1997**, de 18 de julio, sobre incineración de residuos peligrosos y de modificación del REAL DECRETO 1088/92, de 11 de septiembre, relativo a las instalaciones de incineración de residuos municipales.

**Real Decreto 700/1998**, de 24 de abril, por el que se modifica el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el REAL DECRETO 363/1995, de 10 de marzo.

## 2001

**Real Decreto 374/2001**, de 6 de abril, sobre protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

**Real Decreto 783/2001**, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. En su título VII, se refiere a las exposiciones a fuentes naturales de radiación.

## 2002

**Real Decreto 1054/2002**, de 11 de octubre, por el que se regula el proceso de evaluación para el registro, autorización y comercialización de biocidas.

**Real Decreto 1073/2002**, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

## 2003

**Real Decreto 255/2003**, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.

**Real Decreto 865/2003**, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

**Resolución de 11 de septiembre de 2003**, de la Secretaría General de Medio Ambiente por la que se dispone la publicación del Acuerdo de 25 de julio de 2003 del Consejo de Ministros, por el que se aprueba el Programa Nacional de Reducción Progresiva de Emisiones Nacionales de dióxido de azufre(SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles(COV's) y amoníaco (NH<sub>3</sub>).

**Real Decreto 1769/2003**, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente.

**Real Decreto 1801/2003**, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos.

## 2004

**Real Decreto 430/2004**, de 12 de marzo, por el que se establecen nuevas normas sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión, y se fijan ciertas condiciones para el control de las emisiones a la atmósfera de las refinerías de petróleo.

## 2005

**Real Decreto 119/2005**, de 4 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

**Real Decreto 1311/2005**, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas

**Ley 28/2005**, de 26 de diciembre, de medidas sanitarias frente al tabaquismo y reguladora de la venta, el suministro, el consumo y la publicidad de los productos del tabaco.

**Resolución de 28 de diciembre de 2005**, de la Secretaría General para la Administración Pública, por la que se dictan instrucciones en relación con la aplicación, en los centros de trabajo de la Administración General del Estado y de los Organismos Públicos dependientes o vinculados, de la Ley 28/2005, de 26 de diciembre, de medidas sanitarias frente al tabaquismo y reguladora de la venta, el suministro, el consumo y la publicidad de los productos del tabaco.

## 2006

**Real Decreto 229/2006**, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.

**Real Decreto 286/2006**, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

**Real Decreto 314/2006**, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

**Real Decreto 396/2006**, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

El desarrollo de una estrategia nacional en materia de calidad de ambiente interior debe implicar etapas diferentes y tener en cuenta los tipos de ambiente interior más relevantes (casa, lugares de ocio, lugares de trabajo no industriales, medios de transporte,..), los tipos de contaminadores y sus fuentes, así como las diferentes estrategias de control y priorización del riesgo, poniendo un énfasis especial en los grupos más vulnerables. Al evaluar la información disponible se podrán establecer prioridades de actuación, identificando los recursos disponibles y planteando la información y la investigación que es necesario llevar a cabo, teniendo en cuenta que el objetivo último de la reglamentación es la protección de la salud de los ciudadanos tanto en el interior como en el exterior de los edificios en los que, diariamente, convivimos.

## **CONTAMINANTES QUÍMICOS EN LA LEGISLACIÓN ESPAÑOLA SOBRE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR**

Los RD 1494/955 y 1073/20026 definen y establecen valores límite para la protección de la salud para una serie de compuestos presentes en el aire ambiente, así como unos márgenes de tolerancia aplicables hasta la entrada en vigor de estos valores, que se recogen en una tabla.

En concreto en el R.D. 1494/95 se establece un umbral de protección de la salud (su superación supone un riesgo para la salud humana, en caso de prolongados episodios de contaminación): 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como valor medio en ocho horas. Para el caso del R.D. 1073/2002 se establecen valores equivalentes para dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

La EPA (Environmental Protection Agency de EE.UU.) ha propuesto unos valores, ampliamente reconocidos, que, a menudo, son tomados como referencia para definir la calidad del aire exterior que puede utilizarse para la ventilación de un edificio.

La EPA establece dos tipos de estándares para la calidad del aire: Los estándares primarios, que fijan límites destinados a proteger la salud pública, incluyendo a la población más sensible tal como asmáticos, niños y ancianos, y los estándares secundarios que fijan límites para proteger el bienestar de la población y que, también, incluyen protección frente a una disminución de la visibilidad, daños a los animales, cosechas, vegetación y edificios.

La OMS (Organización mundial de la salud) ha preparado unas Guías para la Calidad del Aire (1999) como respuesta a la necesidad de emprender acciones

y mejorar la legislación y la gestión respecto a la contaminación ambiental a nivel local, regional y nacional, en diversas tablas se dan valores guía para los contaminantes clásicos basados en efectos conocidos para la salud.

También sirve de guía genérica la NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos y el RD 374/01 de Protección contra agentes químicos.

Un caso particular es el de radón, existe una Recomendación de la Comisión de 21 de febrero de 1990 relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios (90/143/Euratom) de DOCE de 27.3.90. En ella se establece, por lo que respecta a los edificios ya existentes, que el nivel de referencia corresponda a un equivalente de dosis efectiva de 20 mSv por año, lo que puede considerarse, a efectos prácticos, como el equivalente de una concentración media anual de 400 Bq/m<sup>3</sup>. Su regulación se prescribe en el RD 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, en su título VII, se refiere a las exposiciones a fuentes naturales de radiación.

## **COMPARACIÓN DE NORMATIVAS**

La calidad del aire interior de un edificio, la determinan los niveles de contaminantes presentes. Para prevenir daños o la falta de comodidad en los ocupantes, existen valores umbrales de los contaminantes más peligrosos.

A continuación se muestran diferentes tablas donde se presentan valores que pueden utilizarse como estudio comparativo con los valores presentados anteriormente de las diferentes normativas existentes. El contenido de las tablas es:

- Las siguientes tablas muestran los niveles de contaminación establecidos en varios países de la comunidad europea y los valores de contaminantes en función del tiempo, establecidos por ASHRAE y en la normativa Europea.

## Niveles umbrales de contaminantes en diferentes países europeo

	Francia		Grecia		Italia		España	
	Nivel (ppm)	Tiempo exposic.						
CO <sub>2</sub>	1000	Continuo	5000	Máximo	-	-	5000	2-8 horas
CO	50	8 horas	50	Máximo	35	1 hora	35	1 hora
					9	8 horas	9	8 horas
NO <sub>2</sub>	3	3 in	5	Máximo	0.055	1 año	0.055	1 año
SO <sub>2</sub>	5	15 in	5	Máximo	0.14	24 horas	0.14	24 horas
		8 horas			0.03	1 año	0.03	1 año
O <sub>3</sub>	0.2	15 in	0.1	Máximo	0.12	1 hora	0.12	1 hora
	0.1	8 horas						
HCHO	2	15 in	5	Máximo	-	-	-	-

## Niveles de contaminantes en función del tiempo

Contaminante	ASHRAE		Normativa Europea	
	Nivel (ppm)	Tiempo de exposición	Nivel (ppm)	Tiempo de exposición
CO <sub>2</sub>	1000	Continuo	1000	1 hora
			87	15 minutos
			53	30 minutos
CO	35	1 hora	26	1 hora
		8 horas	9	8 horas
NO <sub>2</sub>	0.055	1 año	0.11	1 hora
			0.04	24 horas
SO <sub>2</sub>	0.14	24 horas	0.19	10 minutos
		1 año	0.13	1 hora
O <sub>3</sub>	0.12	1 hora	0.08 - 0.10	1 hora
			0.05 - 0.06	8 horas
HCHO	-	-	0.08	30 minutos