

CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN LOS CENTROS DE EDUCACIÓN INFANTIL DEL PAÍS VASCO.

Ainhoa Mendivil Martínez – ainhoa_mendivil@sgs.com

Universidad del País Vasco, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.
ETS de Ingenieros, Alda. Urquijo s/n. 48013 Bilbao

Victor del Campo Díaz –

Universidad del País Vasco, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.
ETS de Ingenieros, Alda. Urquijo s/n. 48013 Bilbao

Resumen.

El objetivo de la presente comunicación es comparar el estado de la calidad del aire en las aulas de las escuelas infantiles del País Vasco con los estándares y normas internacionales. La exposición a contaminantes del aire interior es muy importante en términos de potenciales efectos negativos, particularmente en los niños que pasan un tercio de su tiempo en las escuelas. En concreto, se muestran los resultados de un estudio de ventilación realizado en un escuela de Bizkaia situada en ámbito no urbano, junto a un pantano en una zona de abundante arbolado carente de toda contaminación antropogénica, donde se monitorizó mediante un detector de absorción de infrarrojo (sin dispersión) la concentración de CO₂, a intervalos de 1 minuto durante 4 meses. También se midió de forma puntual, la concentración de partículas y de TVOCs para evaluar la contaminación del aire producida por materiales y mobiliario, así como el confort termohigrométrico. Se detectaron concentraciones de hasta 3000 ppm de CO₂ durante la actividad escolar. Cuando los niveles de dióxido de carbono exceden de 1.000 ppm en las áreas interiores, muchas personas comienzan a experimentar incomodidad, dolores de cabeza, cansancio y apatía general, estos síntomas se agravan en el caso de los niños debido a su mayor actividad metabólica. El estudio trata de mostrar que debe cuidarse la tasa de ventilación de los colegios para evitar el absentismo escolar detectado y la mala calidad de aire y de confort que determina en parte, un menor rendimiento escolar de los alumnos implicados.

Palabras clave: calidad aire, escuelas, ventilación, dióxido de carbono, salud infantil.

1. INTRODUCCION:

Uno de cada cuatro niños europeos tiene asma o alergia. Estas son las causas fundamentales del absentismo infantil en las escuelas y las consecuencias socio-económicas que esto conlleva son muy elevadas. La concentración de dióxido de carbono en un ambiente interior puede aportar información sobre distintos aspectos y circunstancias de una escuela tales como posibilidad de efectos sobre la salud de los niños, correlación con problemas y quejas en el rendimiento escolar o como dato para estudiar la ventilación de un aula.

Un mal ambiente interior interfiere en el rendimiento escolar y puede causar disconfort e irritación, así como problemas de salud a corto y largo plazo en escolares, profesores y el resto del personal. Esta relación se evidenció durante el proyecto **RANCH** (*Road traffic and Aircraft Noise exposure and Children's cognition and Health*), se estudiaron los efectos en la población infantil (un total de 2844 niños de 89 escuelas) de la exposición crónica al ruido producido por los aviones y tráfico en varios colegios cercanos a algunos aeropuertos europeos.

La exposición a contaminantes del aire interior es muy importante en términos de potenciales efectos negativos, particularmente en los niños que pasan un tercio de su tiempo en las escuelas. Estudios realizados por la **EPA** (U.S. *Environmental Protection Agency*) demuestran que los niveles de contaminación interior pueden ser hasta 5 veces superiores que en el exterior y en determinadas actividades hasta 100 veces mayor.

La **EFA** (*European Federation of Asthma and allergy association*) considera que la UE, las autoridades nacionales, los científicos y todos los organismos directa o indirectamente implicados juegan un papel importante en el desarrollo e implementación de un programa multidisciplinar europeo de calidad del aire interior en escuelas dentro del marco de la salud pública que provea de estándares europeos de buena calidad del ambiente interior en escuelas. Esta petición ha sido formulada formalmente en el *Third International Conference on Children's Health and Environment ICCHE '04* (Londres, abril 2004).

En este contexto la **Comisión Europea** (DG Sanco, 1999) emprende el proyecto *Indoor Air Pollution in Schools* que revisa el estado de la calidad el aire en las escuelas de los estados europeos.

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se forma en todos aquellos procesos en que tiene lugar la combustión de sustancias que contienen carbono. Es un componente del aire exterior en el que se encuentra habitualmente a niveles entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas valores de hasta 550 ppm. La única fuente importante de emisión de CO₂ en locales interiores en los que no hay instalados aparatos de combustión no conducidos, son las propias personas. No es un contaminante grave, es un asfixiante simple, por desplazamiento del oxígeno y necesita concentraciones elevadas para manifestar sus efectos. Cuando los niveles de dióxido de carbono exceden de 800 a 1.200 ppm en las áreas interiores, muchas personas comienzan a experimentar incomodidad, dolores de cabeza, cansancio y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición, estos síntomas se agravan en el caso de los niños.

Los niños respiran en peso un 50% más de aire que los adultos debido a su elevado metabolismo. En el proceso de respiración se inhala O₂, y se exhala CO₂. El procedimiento, según la norma UNE 100-01191, para establecer la cantidad mínima de aire de ventilación, consiste en aceptar que una persona sana, con una dieta normal, genera una cantidad de dióxido de carbono que viene dada por:

$$q = \frac{0,0042\bar{M}}{[CO_2]_{interior} - [CO_2]_{exterior}} \times 10^6$$

siendo:

\bar{M} la actividad metabólica media de los ocupantes

q = el caudal de aire exterior en l/s por persona

qCO₂ = la tasa de generación de dióxido de carbono en l/s por persona

[CO₂]recinto = concentración media de dióxido de carbono en el local (ppm)

[CO₂]exterior = concentración de dióxido de carbono en el exterior (ppm)

Nuestro trabajo de investigación trata de mostrar la necesidad de controlar la tasa de ventilación de los colegios para evitar el absentismo escolar detectado y la mala calidad de aire y de confort que determina en parte, un menor rendimiento escolar de los alumnos implicados.

Para que un sistema de ventilación sea eficaz se precisa un buen diseño, una instalación correcta y un mantenimiento adecuado. Se ha utilizado la pre-norma europea **prEN 13779** (aún no está en vigor) para valorar la calidad de la ventilación.

2. METODOLOGÍA:

2.1. Elección del emplazamiento

El estudio se desarrolló en una escuela infantil sobre una población de 10-15 alumnos niños de 1º Ciclo de Educación Infantil (*Haur Hezkuntzako 1. Zicloa*) por ser esta la población menos sometida a factores externos de estrés y la más sensible al ambiente interior de las aulas.

En concreto, se muestran los resultados de un estudio de ventilación mediante determinación de concentraciones de CO₂ realizado en aula situada en ámbito no urbano, junto a un pantano en una zona de abundante arbolado carente de toda contaminación antropogénica. También se midió de forma puntual, la concentración de partículas y de TVOCs para evaluar la contaminación del aire producida por materiales y mobiliario, así como el confort termohigrométrico.

Si la escuela se mantiene cerrada herméticamente (utilizando estrictos criterios de ahorro energético) y no se introduce aire fresco, la concentración de CO₂, se incrementa progresivamente, y con él los niveles de todos los contaminantes que se generan constantemente por la actividad y los materiales interiores. Todos los contaminantes se encuentran atrapados en el interior de la escuela enrareciendo la atmósfera. El nivel de CO₂ interior da una orientación sobre los niveles esperables de contaminación ambiental, sobre todo cuando se trata de aulas con una ocupación y/o actividad elevadas.

Utilizar la concentración de dióxido de carbono como indicador de ventilación sólo es válido en aquellos espacios en que hay suficientes ocupantes para servir de fuente de dióxido de carbono y que, además, han permanecido en el mismo el tiempo necesario para que el nivel de dióxido de carbono alcance el equilibrio.

2.2. Muestreo

La tasa de ventilación se determinó utilizando un equipo portátil de infrarrojo llamado Q-Track que registró los niveles de CO₂, CO, humedad relativa y temperatura utilizando un detector de absorción de infrarrojo (sin dispersión) para monitorizar la concentración de dióxido de carbono cada minuto durante 4 meses (13 de febrero a 15 de junio de 2004). El valor determinado lógicamente incluye todas las entradas de aire exterior, las infiltraciones a través de puertas, ventanas, grietas etc. Las condiciones climatológicas (temperatura, humedad, precipitaciones, velocidad y dirección del viento) fueron también registradas en una estación metereológica situada en el Monte Argalar.



Figura 1. Fotografía de los equipos midiendo.

Desde el punto de vista práctico, en el aula se está tomando como indicador de la calidad de aire interior la concentración del dióxido de carbono producido en la respiración de los niños y así, si no existe una reducción de su concentración por otro medio distinto de la ventilación, se considera que la ventilación es inadecuada cuando se superan las 800 ppm de dióxido de carbono, tal y como recomienda el borrador de norma europea **prEN 13779 (CEN 2003)**.

Los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) se muestrearon durante un día escolar (9:00 a 17:00) con Tubos Absorbentes Tenax de 1,5 gramos. Una vez realizado el ensayo, los VOCs adsorbidos son recogidos por desorción térmica y posteriormente analizados mediante un espectrógrafo de masas o por una cromatografía de gases. La metodología es la especificada por el Método EPA TO-2: se detectan volátiles orgánicos no polares tales como aromáticos e hidrocarburos clorados con puntos de ebullición que oscilan entre 80 y 200°C.

Para obtener una muestra fiable es necesario hacer circular un mínimo de 20 litros de aire por gramo de tenax.

Las mediciones de partículas de diámetro aerodinámico menor que 4 µm (PM4), se realizaron 3 días (febrero, marzo y junio) durante media hora con un equipo portátil por reflexión de láser denominado Dust-Track que pesa las partículas en suspensión en el aire del aula.

Se realizó un ensayo continuo durante un día completo de la jornada escolar con un monitor de confort térmico con software de cálculo integrado para medir los diferentes parámetros. Dicho ensayo se realiza de acuerdo a los requisitos de la Norma UNE-EN ISO 7730 y por tanto incluye la medida de los siguientes parámetros: Temperatura seca, Temperatura húmeda, Temperatura radiante, Velocidad del aire, Actividad metabólica, Grado de asentamiento de la vestimenta. La interpretación de los resultados de estas mediciones está basada en el algoritmo definido en la norma y que finalmente nos indica un valor de porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) para las condiciones térmicas detectadas. El porcentaje de insatisfechos óptimo no debe ser superior al 10 % y se recomienda que no se sobrepase el 20%.

El conocimiento de la concentración de microorganismos en suspensión ayudó a conocer la calidad higiénico-sanitaria del aire respirado, se han sugerido normas para los niveles microbianos del aire interior basándose en quirófanos y en las experiencias obtenidas en otros edificios estableciéndose una barrera de 750 unidades formadoras de colonias. El muestreo se realizó con toma-muestras centrífugo de aire RCS, utilizando tiras de agar-agar seguido de incubación, identificación y recuento de las bacterias y hongos.

2.3. Resultados

Las mediciones obtenidas durante 71 días hábiles mostraban una concentración media de dióxido de carbono (CO₂) superiores a 800 ppm y en las horas de máxima ocupación del aula las concentraciones superan los 1200 ppm.

El 35,2% de los días escolares registraron máximos por encima de los 2500 ppm de CO₂, el doble de ocasiones en primavera respecto al invierno. En ocasiones los valores han sobrepasado los 3000 ppm. Durante la primavera el porcentaje de días en que se alcanzaron picos máximos era el doble que en invierno.

En general, la mala situación de la ventilación era más crítica por la mañana que por la tarde y los porcentajes de las concentraciones medias de CO₂ eran ligeramente superiores en primavera que en invierno.

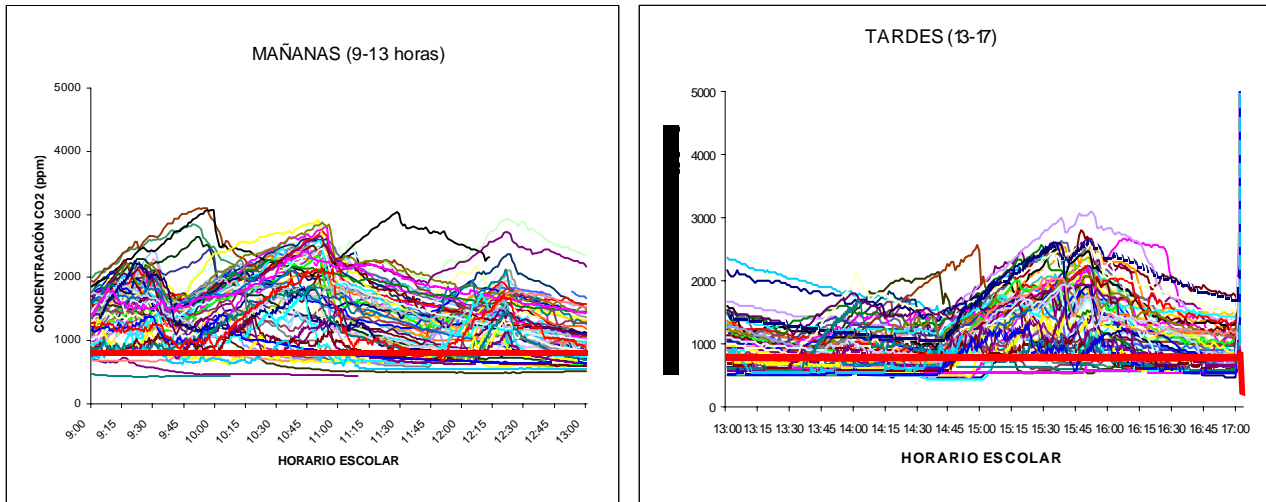
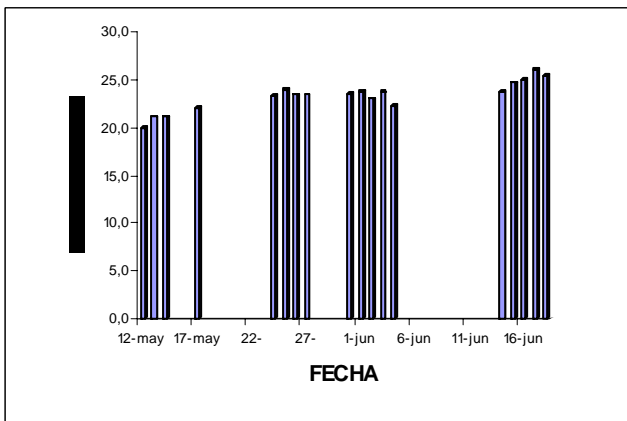


Figura 2. Distribución de la concentración de CO₂ en horario escolar.

Los TVOCs identificados fueron Benceno, 1,3,5-Triclorobenceno, 1,2,4-Triclorobenceno, 1,2,3-Triclorobenceno y se encontraron en bajas concentraciones, por debajo de 1.000 µg/m³

Las concentraciones de partículas respirables tenían una concentración media a medio día de 800 µg/m³ justo después de que los niños abandonasen el aula. A última hora de la tarde (17:30) la concentración media caía a 450 µg/m³. Las concentraciones son elevadas para ambientes interiores y son superiores en verano que en invierno.



El confort termohigrométrico registrado durante las horas de ocupación escolar muestra una variación entre el 20 y 25% de personas insatisfechas, siendo la media del 23%.

La situación empeoraba a medida que avanzaba el verano y la temperatura exterior subía. La norma ISO 7730 recomienda que los valores se mantengan por debajo del 10%.

Respecto al muestreo de contaminantes biológicos en el aire, se hicieron 5 mediciones cuyos resultados se muestran en la Tabla 2. Las especies marcadas con CON es por el crecimiento concluyente debido a la humedad del medio. La concentración de bacterias era ligeramente superior en el interior que en el exterior y la concentración de hongos al revés, ligeramente superiores en el exterior que en el interior.

FECHA		BACTERIAS (ufc aisladas/m ³)	HONGOS (ufc aisladas/m ³)
11/03/04	Interior	CON Staphilococcus spp CON Micrococcus spp 20 Bacilleas Gram +	55 Ascomycotas
	Exterior	CON Staphilococcus spp 15 Micrococcus spp 17 Bacilleas Gram +	180 Ascomycotas
18/05/04	Interior	CON Staphilococcus spp 150 Micrococcus spp 45 Bacilleas Gram +	148 Ascomycotas
	Exterior	CON Staphilococcus spp 25 Micrococcus spp 45 Bacilleas Gram +	198 Ascomycotas
25/05/04	Interior	CON Staphilococcus spp CON Micrococcus spp	CON Ascomycotas
	Exterior	CON Staphilococcus spp CON Micrococcus spp	CON Ascomycotas
31/05/04	Interior	15 Staphilococcus spp 50 Micrococcus spp	73 Ascomycotas
	Exterior	CON Staphilococcus spp CON Bacilleas Gram +	77 Ascomycotas
07/06/04	Interior	15 Staphilococcus spp 50 Micrococcus spp	99 Ascomycotas
	Exterior	CON Staphilococcus spp CON Bacilleas Gram +	114 Ascomycotas

2.1. Discusión de resultados

Las mediciones mostraban una concentración media de dióxido de carbono (CO₂) durante el 84,5% del tiempo, lo que supera las recomendaciones del borrador de norma europea prEN 13779 para una calidad del aire interior moderada (IDA 3). y un 39,4% del tiempo las concentraciones superan los 1200 ppm que indicaría una pobre calidad del aire interior (IDA 4).

En la Tabla 3 se muestra la evolución diaria media de la tasa de ventilación.

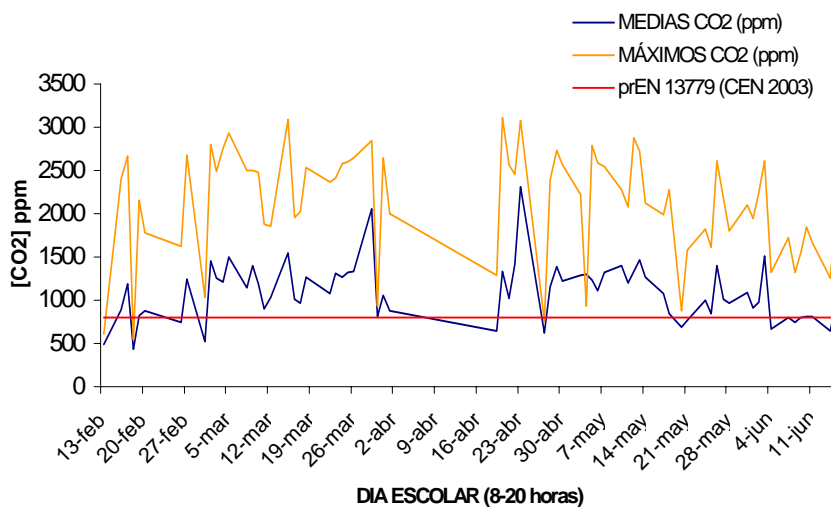


Figura 3. Perfiles de la concentración de CO₂ media diaria y sus máximos.

Las medias y máximos obtenidos en la monitorización de CO₂ objeto del presente estudio, soportan la teoría de que existen serios problemas de calidad del aire en las aulas, sobre todo en aquellas que no disponen de ventilación mecánica, tal y como han demostrado estudios realizados por el *Centre Scientifique et Technique du Batiment de Francia (Indoor.Air 2002)*.

Además, este problema se ve agravado por la situación de disconfort por exceso de calor y la relación directa entre la concentración de PM₄ y la falta de ventilación. La concentración de microorganismos se mantenía por debajo de la barrera de 750 ufc y eran especies habituales típicas del polvo.

3. CONCLUSIONES:

Por lo tanto, en esta ponencia se puede concluir que en aulas sin ventilación mecánica los rangos de concentración de CO₂ varían desde 1500 ppm a 2000 ppm durante las horas de ocupación escolar, alcanzándose en horas punta (11:00 y/o 16:00) picos de 3000 ppm. No se han estudiado aulas con ventilación mecánica en el País Vasco, porque estas no existen.

Los resultados presentados forman parte de un estudio más amplio que trata de caracterizar la calidad del aire interior en escuelas de educación infantil en el País Vasco y muestran la inadecuada ventilación sus las aulas. Hay muchos factores que pueden afectar a la calidad ambiental en escuelas que se ven agravados por la falta de ventilación.

Los valores de ventilación se han contrastado con el proyecto de norma europea prEN 13779 mostrando que en horas de ocupación escolar de las aulas las concentraciones superan los 1200 ppm que indicaría una pobre calidad del aire interior (IDA 4). En este sentido el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios) de obligado cumplimiento en España, olvida tratar la ventilación como un "subsistema" independiente en centros de producción de calor.

REFERENCIAS:

- CARBON DIOXIDE LEVELS AND DYNAMICS IN ELEMENTARY SCHOOLS: RESULTS OF THE TESIAS STUDY (Proceedings Indoor Air 2002) RICorsi^{1,2}, VMTorres¹, Msanders^{1,2} y KA Kinney^{1,2}, ¹Texas Institute for the Indoor Environment, Center for Energy and Environmental Resources, Universidad de Texas, Austin, TX (USA), ²Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Texas, Austin, TX (USA).
- DO INDOOR ENVIRONMENTS IN SCHOOLS INFLUENCE STUDENT PERFORMANCE? A REVIEW OF THE LITERATURE (Proceedings Indoor Air 2002). GA Health¹, 2, MJ Mendell¹. ¹Indoor Environment Dept., Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA (USA) y ²Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, CA (USA).
- TOTAL DUST EXPOSURE AND SIZE DISTRIBUTION OF AIR BORNE PARTICLES IN DAY-CARE CENTRES, SCHOOLS AND OFFICES (Proceedings Indoor Air 2002). Gstridh, H Anderson, B Linder, J Orcaisson y Ch Sahlberg. Dept. of Occupational and Environmental Medicine, Örebro University Hospital, Örebro (Suecia).
- THE CONTRIBUTION OF RESTORATION AND EFFECTIVE OPERATION AND MAINTENANCE PROGRAMS ON INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY AND EDUCATIONAL PERFORMANCE IN SCHOOLS (Proceedings Indoor Air 2002). MABerry. University of North Carolina, Chapel Hill CA (USA)
- HEALTH, ENERGY AND PRODUCTIVITY IN SCHOOLS: MEASURES OF OCCUPANT PERFORMANCE (Proceedings Indoor Air 2002)

PKFreitag1,JEWoods1,BHemler2,NPSensharma1, BAPenney1 y Gmarx3. 1HP Woods Research Institute, Herndon, VA (USA) 2Montgomery County public Schools, Rockville, MD (USA) y 3Center for Public Outreach, Vienna, VA (USA).

- HEALTH, ENERGY AND PRODUCTIVITY IN SCHOOLS: OVERVIEW OF THE RESEARCH PROGRAM (Proceedings Indoor Air 2002) JEWoods1,BAPenney1,PKFreitag1, Gmarx3,BHemler2 y NPSensharma1 HP-Woods Research Institute, Herndon, VA (USA) 2Montgomery County public Schools, Rockville, MD (USA) y 3Center for Public Outreach, Vienna, VA (USA).
- GERMAN ENVIRONMENTAL SURVEY OF CHILDREN AND TEENAGERS 2000 (GERES IV): A REPRESENTATIVE POPULATION STUDY INCLUDING INDOOR POLLUTANTS (Proceedings Indoor Air 2002) Dullrich,Cgleue,Ckrause,Clusansky,Rnagel,Cschulz y Bseifert. Federal Environmental Agency, Berlin (Alemania).
- INDOOR AIR QUALITY IN SCHOOLS: THE IMPACT OF VENTILATION CONDITIONS AND INDOOR ACTIVITIES (Proceedings Indoor Air 2002) Jriberón,PO´Kelly,Fmaupetit y ERobine, Sustainable Development Dept., Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Francia).
- AIR QUALITY AND VENTILATION RATES IN SCHOOLS IN POLAND-REQUIREMENTS, REALITY AND POSSIBLE IMPROVEMENTS (Indoor Air 2002) Jsowa, Institute of Heating and Ventilation, Warsaw University of Technology, Warsaw (Polonia).
- THERMAL CONFORT AND ENVIRONMENTAL QUALITY IN HIGH-SCHOOL AND UNIVERSITY CLASSROOMS-OBJECTIVE AND SUBJECTIVE SURVEYS. (Climamed 2004) StefanoPaoloCorgnati, Sara Viazzo, Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica (DENER), Torino (Italia)

