



MINISTERIO  
DE ECONOMÍA, INDUSTRIA  
Y COMPETITIVIDAD



Centro Nacional de Salud Ambiental

Laboratorio Nacional de Referencia  
(RD 102/2011 de 28 de enero)

**INFORME FINAL (MODIFICADO) EI 01/2016(G1)  
DEL SEGUNDO EJERCICIO DE INTERCOMPARACIÓN DE  
OZONO DEL PROGRAMA DE EJERCICIOS DE  
INTERCOMPARACIÓN "IN SITU" DE GASES  
ATMOSFÉRICOS (2016)**

Se procede a la emisión del presente Informe final (Modificado) del Segundo Ejercicio de intercomparación de Ozono. Grupo 1. (2016), ya que se ha detectado el siguiente error: “Las incertidumbres indicadas en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8 del apartado 4 son las incertidumbres típicas informadas por los participantes, y no las incertidumbres expandidas ( $k=2$ ) que deberían aparecer”. Igualmente, se corrigen el número de decimales informados por el participante B\_1. Una vez realizadas las correcciones pertinentes, se informa que esta corrección únicamente modifica los resultados del participante B\_1.

## **1 OBJETO**

El objeto del programa de ejercicios de intercomparación de medida “in situ” de gases atmosféricos desarrollado por el Área de Contaminación Atmosférica (ACA) del Centro Nacional de Sanidad Ambiental del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) es garantizar a los organismos participantes la trazabilidad y la calidad de los datos generados por sus analizadores.

La participación en ejercicios de intercomparación permite a las redes de medida de la calidad del aire y/o laboratorios de calidad del aire que participan en los mismos, evaluar el desempeño, verificar la adecuación de los procedimientos que utilizan para la determinación de contaminantes atmosféricos en aire ambiente, y en el caso concreto de las redes de calidad del aire, cumplir con los objetivos de calidad de los datos establecidos en la legislación (RD 102/2011 de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire y RD 39/2017 de 27 de enero por el que se modifica el Real Decreto 102/2011).

En definitiva, los objetivos de estos ejercicios de intercomparación son:

- garantizar a las redes de vigilancia de la calidad del aire en España la trazabilidad y la calidad de los datos;
- cumplir con los objetivos de calidad de los datos fijados en la legislación pertinente, y
- garantizar que las distintas redes proporcionen datos comparables y que la evaluación (medición) de la calidad del aire se realice de una forma armonizada.

En el marco del citado programa de ejercicios de intercomparación de medida “in situ” de gases atmosféricos, el ISCIII ha organizado en el año 2016 el segundo ejercicio de intercomparación “in situ” de  $O_3$ .

## **2 ANTECEDENTES**

Con fecha 29 de enero de 2011 se publicó el RD 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, según el cual el Centro Nacional de Sanidad Ambiental (CNSA) del ISCIII es designado Laboratorio Nacional de Referencia de calidad del Aire, y como tal tiene, entre otras funciones, la coordinación a escala nacional de la correcta utilización de los métodos de referencia y la demostración de la equivalencia de los métodos que no sean de referencia.

Además, el citado RD indica en el punto III del anexo V que:

*“Con el fin de asegurar la exactitud de las mediciones y el cumplimiento de los objetivos de calidad de los datos fijados en el apartado I, las autoridades y organismos competentes designados en virtud del apartado 3.a) del artículo 3 deberán:*

- *asegurar el establecimiento de un proceso de garantía y control de calidad para las actividades de compilación y comunicación de datos y la participación activa de las instituciones designadas para esa tarea en los programas afines de garantía de la calidad de la Comunidad”.*

A su vez el RD 39/2017 de 27 de enero, por el que se modifica el RD 102/2011, se reitera de nuevo en este aspecto, por lo que para su cumplimiento el Laboratorio Nacional de Referencia pone a su disposición la organización periódica de ejercicios de intercomparación como una herramienta fundamental dentro de las actividades de control de calidad.

Desde el año 2010 el ISCIII organiza anualmente, ejercicios de intercomparación “in situ” de gases atmosféricos en el laboratorio de intercomparaciones del Área de Contaminación Atmosférica del Centro Nacional de Sanidad Ambiental.

El ACA tiene implantado un sistema de calidad UNE-EN ISO/IEC 17025 y está acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) como laboratorio de ensayo desde el año 2000. En el alcance de su acreditación 223/LE460 se incluyen los métodos de determinación de contaminantes gaseosos SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO y C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> en aire ambiente de acuerdo a los métodos de referencia establecidos en el RD 102/2011, y en el RD 39/2017.

Por otro lado, el ISCIII, es a través del ACA del CNSA laboratorio asociado al Centro Español de Metrología por ser depositario del Patrón Nacional de Ozono (RD 250/2004 de 6 de febrero, modificado por el RD 1587/2009 de 16 de octubre), lo cual lo sitúa en el nivel más alto de la cadena metrológica para este parámetro.

En este marco metrológico y para dar cumplimiento a los RD 102/2011 y RD 39/2017 el ACA, como Laboratorio Nacional de Referencia, participa periódicamente en los ejercicios de intercomparación comunitarios organizados por el Laboratorio de Referencia Europeo para la Contaminación Atmosférica (ERLAP) del Joint Research Centre (JRC) y cuenta para ello con un Laboratorio de Intercomparaciones destinado a la organización de intercomparaciones de medida “in situ” de gases en aire ambiente.

## **2 PLANIFICACIÓN**

En febrero de 2016, el ISCIII informó a las redes de calidad del aire de la organización durante el segundo semestre de 2016 de un ejercicio de intercomparación “in situ” de O<sub>3</sub>, en el laboratorio de

intercomparaciones del ISCIII. Para ello, se envió, vía mail, un formulario de registro en el ejercicio de intercomparación, que fue contestado afirmativamente por 17 redes. Dado el número de participantes, el ejercicio fue programado en tres fechas distintas:

Grupo 1: 23 y 24 de noviembre de 2016

Grupo 2: 28 y 29 de noviembre de 2016

Grupo 3: 30 de noviembre y 01 de diciembre de 2016

En el mes de septiembre, el ISCIII remitió por correo electrónico a los participantes, la documentación que se cita a continuación, solicitando además la confirmación final de asistencia al ejercicio:

- Protocolo para la organización de ejercicios de intercomparación de gases “*in situ*”;
- Listado de participantes, distribución y fechas.

Finalmente, confirmaron su asistencia al ejercicio de intercomparación de O<sub>3</sub> en las fechas correspondientes al grupo 1, los siguientes participantes:

- Andalucía
- Baleares
- Galicia
- País Vasco
- Portugal

El personal participante del ISCIII, fue

D.ª M<sup>a</sup> del Pilar Morillo Gómez

D.ª María Rodríguez García

Con el fin de preservar la confidencialidad de los resultados, los distintos participantes han sido identificados con un código alfanumérico X\_Y, donde X es una letra correlativa del alfabeto e Y se corresponde con el número de grupo en el que se ha participado. Este informe corresponde al grupo 1 de la intercomparación de O<sub>3</sub> de 2016.

### **3 DESARROLLO DEL EJERCICIO DE INTERCOMPARACIÓN**

#### **3.1 CRONOGRAMA**

La duración del ejercicio de intercomparación fue de 2 días, contando con el tiempo necesario para la instalación, estabilización y desmontaje de los equipos, siendo el cronograma final el siguiente:



- Día 23/11/2016:
  - 08:30 h a 11:00 h: Llegada de los participantes, instalación de los equipos en los distintos puestos de trabajo
  - 11:00 h a 13:30 h: Comprobación del estado de los analizadores (verificación/calibración y/o diagnósticos y mantenimientos que cada participante considere pertinente)
  - 13:30 h a 14:30 h: Comida en la cafetería del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII)
  - 14:30 a 15:00 h: Comprobación del estado de los analizadores (verificación/calibración y/o diagnósticos y mantenimientos que cada participante considere pertinente)
  - 15:00 h a 00:00 h: Inicio de la intercomparación. Generación de las mezclas de gas de intercomparación y medición por parte de los participantes
  
- Día 24/11/2016:
  - 00:00 h a 02:00 h: Continuación de la intercomparación. . Generación de las mezclas de gas de intercomparación y medición por parte de los participantes
  - 02:00 h a 15:00 h: Generación de aire cero. No se mide
  - 08:30 h a 12:30 h: Recogida de datos, comprobación del estado de los analizadores si procede y desinstalación de los equipos

### 3.2 EQUIPOS Y MATERIAL NECESARIO

Cada participante aportó el equipo (analizador, patrón de transferencia, aire cero y sistema de adquisición de datos), que consideró necesario para la comprobación “in situ” del estado de su analizador de O<sub>3</sub> (verificación/calibración previa al ensayo), la realización de las mediciones y la adquisición de datos del gas de ensayo.

Las tablas 1 y 2 muestran los analizadores, aire cero y materiales de referencia aportados por cada participante para la realización del ejercicio de intercomparación en el ISCIII:



MARCA, MODELO, n/s
THERMO 49i, n/s 1219953742
HORIBA APOA 360, n/s 101007
HORIBA APOA 360, n/s 3U5SJKKY
Teledyne API T400, n/s 1920
Teledyne T200 n/S 258

Tabla 1 – Analizadores de ozono aportados por los distintos participantes

PARTICIPANTE	AIRE CERO (Marca/impureza O <sub>3</sub> )	Patrón transferencia	
		Marca/modelo n/s	Patrón
A_1	Air Liquide (< 0,5 nmol/mol)	Marca/modelo	Thermo 49CPS
		n/s	63823-341
		Fecha de la última calibración	2/02/2016
		Trazabilidad a patrón primario	VERO3 02/2016
B_1	Praxair (< 0,5 nmol/mol)	Marca/modelo	MCZ/MK10
		n/s	---
		Fecha de la última calibración	04/02/2016
		Trazabilidad a patrón primario	CALYGAS nº P4061 (ENAC)
C_1	Teledyne API 701 (< 0,5 nmol/mol)	Marca/modelo	Teledyne API T750
		n/s	1281
		Fecha de la última calibración	21/09/2016
		Trazabilidad a patrón primario	VERO3 26/2016
D_1	Teledyne API 701H (< 0,5 nmol/mol)	Marca/modelo	Teledyne 400E
		n/s	2687
		Fecha de la última calibración	12/09/2016
		Trazabilidad a patrón primario	VERO3 27/2016
		Marca/modelo	Teledyne API 700E

<b>E_1</b>	Teldyne API 701	n/s	283
		Fecha de la última calibración	02/08/2016
		Trazabilidad a patrón primario	VERO3 15/2016

Tabla 2 – Gas cero y patrón de transferencia aportados por los distintos participantes para la realización del control de calidad y/o calibración en el ISCIII

Todos los participantes trajeron equipos y material para llevar a cabo alguna actuación de calibración o control de calidad en las instalaciones del ISCIII, con carácter previo y/o posterior a la medición de las mezclas de gas para la comparación.

### 3.3 ITEMS DE ENSAYO

Los ítems de ensayo son mezclas de gas de concentración conocida, generadas a partir de un material de referencia certificado, un gas de dilución que no debe contener el máximo de impureza permitida del gas que se va comparar y de un sistema de dilución dinámica.

Por tratarse de ítems de ensayo, producidos y medidos “in situ”, no procede almacenamiento, manipulación o distribución de los mismos. Sin embargo, debe evaluarse la distribución uniforme de la mezcla a lo largo del sistema de distribución.

Las mezclas de gas para el ensayo se generaron mediante un generador de ozono, un generador de aire cero y un sistema de dilución dotado de dos controladores de caudal másico, con capacidad suficiente para garantizar el caudal necesario y la distribución homogénea de la mezcla de gas para cada participante. El ISCIII, a su vez, midió las concentraciones generadas mediante la utilización de dos analizadores de O<sub>3</sub>, situados al principio y final de la línea de distribución con el fin de confirmar que no se produce ninguna incidencia que pueda afectar a la medida a lo largo de la misma.

Los equipos empleados para la generación de las concentraciones de O<sub>3</sub> son los que se describen a continuación:

- Sistema de dilución dotado de dos controladores de caudal másico y de un sistema generador de ozono para la generación de las concentraciones de O<sub>3</sub>, marca MCZ, código interno ZA-JÑ-01;
- Analizadores de O<sub>3</sub>, marca Themo 49i (código interno ZA-AN-48) y marca Teldyne API modelo 400E (código interno ZA-AN-49);
- Sistema de filtrado de aire cero, marca MCZ, código interno ZA-AZ-04.

### 3.4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Para la realización del ejercicio de intercomparación se generó un gas cero ( $c_0$ ) y cinco concentraciones diferentes de  $O_3$  ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  y  $c_5$ ), con una concentración teórica máxima de 130 nmol/mol.

El gas cero se generó durante una hora, desechándose la primera media hora y tomando como resultado de la comparación el promedio de 30 min de la siguiente media hora. El resto de las concentraciones de  $O_3$  se generaron durante un periodo de tiempo de 2 h. La primera media hora se desechó al considerarse periodo de estabilización y de la siguiente hora y media se realizaron tres medidas de cada concentración (tomadas igualmente como promedios de 30 min).

La figura 1 muestra la secuencia de concentraciones generadas para el ejercicio de intercomparación:

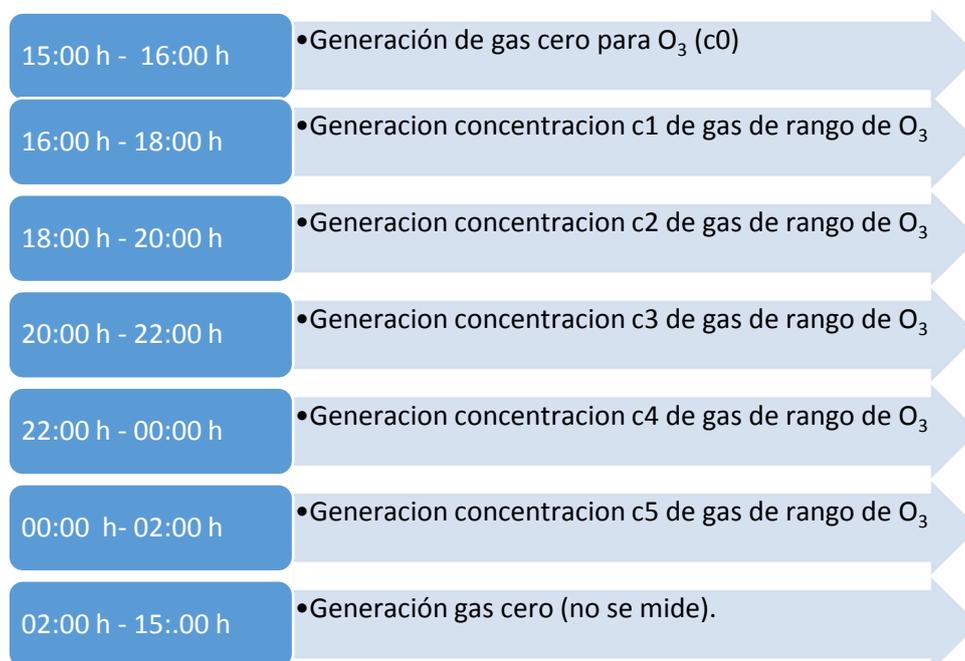


Figura 1: Cronograma de la generación de concentraciones de  $O_3$

### 4 RESULTADOS DE LAS MEDIDAS DE LOS PARTICIPANTES

Las tablas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 muestran los resultados obtenidos por cada participante para cada una de las concentraciones ( $c_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  y  $c_5$ ) generadas durante el ejercicio de intercomparación para  $O_3$ .



PARTICIPANTE	c0
A_1	1,33
B_1	0,30
C_1	0,06
D_1	-0,41
E_1	0,66

Tabla 3. - Resultados de la concentración c0 de O<sub>3</sub> informada por los distintos participantes

PARTICIPANTE	c1	U (k=2)
A_1	119,14	13,20
B_1	126	12
C_1	116,37	5,09
D_1	113,78	4,03
E_1	118,01	7,60

Tabla 4. - Resultados de la concentración c1 de O<sub>3</sub> informada por los distintos participantes

PARTICIPANTE	c2	U (k=2)
A_1	28,22	8,98
B_1	29,3	4,1
C_1	27,14	1,20
D_1	26,47	4,03
E_1	27,88	2,90

Tabla 5. - Resultados de la concentración c2 de O<sub>3</sub> informada por los distintos participantes



<b>PARTICIPANTE</b>	<b>c3</b>	<b>U (k =2)</b>
<b>A_1</b>	98,90	11,88
<b>B_1</b>	106	10
<b>C_1</b>	96,99	4,27
<b>D_1</b>	94,45	4,03
<b>E_1</b>	98,82	6,40

Tabla 6. - Resultados de la concentración c3 de O<sub>3</sub> informada por los distintos participantes

<b>PARTICIPANTE</b>	<b>c4</b>	<b>U (k =2)</b>
<b>A_1</b>	45,89	8,60
<b>B_1</b>	49,2	5,1
<b>C_1</b>	44,99	1,97
<b>D_1</b>	43,41	4,03
<b>E_1</b>	46,03	4,70

Tabla 7. - Resultados de la concentración c4 de O<sub>3</sub> informada por los distintos participantes

<b>PARTICIPANTE</b>	<b>c5</b>	<b>U (K =2)</b>
<b>A_1</b>	65,75	8,90
<b>B_1</b>	70,8	6,9
<b>C_1</b>	64,45	2,82
<b>D_1</b>	62,42	4,03
<b>E_1</b>	65,72	6,60

Tabla 8. - Resultados de la concentración c5 de O<sub>3</sub> informada por los distintos participantes



## 5 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico diseñado para el programa de ejercicios de intercomparación de medida “in situ” de gases atmosféricos y por tanto para el presente ejercicio de intercomparación de O<sub>3</sub>, incluye:

- Comprobación de la distribución uniforme de las mezclas de gas.
- Determinación del valor asignado como valor de referencia y de su incertidumbre típica.
- Comprobación por comparación del valor asignado y su incertidumbre típica con parámetros obtenidos por estadística robusta.
- Determinación de la desviación típica objetivo del ejercicio de intercomparación.

### 5.5.1 Comprobación de la distribución uniforme de las mezclas de gas

La comprobación de la distribución uniforme de la muestra se realiza “in situ” en el mismo momento en que se está realizando la comparación. Para ello, los analizadores de referencia instalados al inicio (analizador ISCIII\_A) y al final (analizador ISCIII\_B), del distribuidor, han medido a la vez y en las mismas condiciones que los participantes durante todo el ejercicio de intercomparación. De este modo, se han obtenido dos grupos de observaciones (analizador ISCIII\_A y analizador ISCIII\_B) que se emplean para comprobar que la mezcla que miden todos los participantes es la misma.

A partir de los resultados de este ensayo se calcula la incertidumbre típica debido a la falta de uniformidad de la mezcla ( $u_{\text{uniformidad}}$ ) a lo largo del sistema de distribución, la cual se tiene en consideración en la estimación de la incertidumbre del valor asignado.

Para comprobar si realmente existe una diferencia significativa entre la mezcla medida por el analizador A situado al inicio del distribuidor de muestra y la medida por el analizador B situado al final del mismo, se realiza la determinación del estadístico D, calculado según establece el anexo A de la Norma UNE-EN ISO 16664:2008, de acuerdo con la ecuación:

$$D = \frac{x_{i,ISCIII\_A} - x_{i,ISCIII\_B}}{\sqrt{u_{ISCIII\_A}^2 + u_{ISCIII\_B}^2}}$$

donde

$x_{i,ISCIII\_A}$  es la concentración de gas medida por el analizador ISCIII\_A, situado al inicio de la línea de distribución, en nmol/mol;

$x_{i,ISCIII\_B}$  es la concentración de gas medida por el analizador ISCIII\_B, situado al final de la línea de distribución, en nmol/mol;

$u_{ISCIII\_A}$  es la incertidumbre típica estimada para la concentración de gas medida por el analizador ISCIII\_A, situado al inicio de la línea de distribución, en nmol/mol;

$u_{\text{ISCI}_{III\_B}}$  es la incertidumbre típica estimada para la concentración de gas medida por el analizador ISCI<sub>III</sub>\_B, situado al final de la línea de distribución, en nmol/mol.

Los criterios de aceptación son:

$D \leq 2$  las concentraciones medidas por los analizadores ISCI<sub>III</sub>\_A y ISCI<sub>III</sub>\_B son equivalentes y se ha producido una distribución uniforme de la mezcla;

$D > 2$  las concentraciones medidas por los analizadores ISCI<sub>III</sub>\_A y ISCI<sub>III</sub>\_B no son equivalentes.

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de uniformidad se determina la incertidumbre debida a la falta de uniformidad que será considerada en la determinación de la incertidumbre típica del valor asignado.

La tabla 9 muestra los resultados obtenidos por los analizadores ISCI<sub>III</sub>\_A e ISCI<sub>III</sub>\_B, situados al inicio y al final de la línea de distribución, respectivamente, para las concentraciones ensayadas de O<sub>3</sub> durante la intercomparación, la diferencia absoluta entre ambos y el valor del estadístico D.

	ISCI <sub>III</sub> _A		ISCI <sub>III</sub> _B		Dif. absoluta nmol/mol	D
	O <sub>3</sub>	$u_{\text{ISCI}_{III\_A}}$	O <sub>3</sub>	$u_{\text{ISCI}_{III\_B}}$		
<b>c1</b>	118,01	2,41	118,48	2,41	0,47	0,1
<b>c2</b>	27,53	1,03	28,05	1,04	0,52	0,4
<b>c3</b>	98,20	2,08	98,57	2,08	0,37	0,1
<b>c4</b>	45,46	1,26	46,04	1,27	0,58	0,3
<b>c5</b>	65,14	1,55	65,68	1,55	0,54	0,2

Tabla 9.- Resultados obtenidos por los analizadores ISCI<sub>III</sub>\_A e ISCI<sub>III</sub>\_B, diferencia absoluta entre ambos y valor del estadístico D, para cada concentración de O<sub>3</sub> generada

Todos los valores del estadístico D son inferiores a 2, por lo que no existe evidencia de que se haya producido una distribución no uniforme de las diferentes mezclas de gas O<sub>3</sub> generadas a lo largo del distribuidor de muestra.

La incertidumbre típica de uniformidad estimada para la distribución de las mezclas de O<sub>3</sub>, a partir de los resultados obtenidos es  $u_{\text{uniformidad}} = 0,6 \%$ .

### 5.5.2 Determinación del valor asignado como valor de referencia y de su incertidumbre típica

Se entiende por valor asignado ( $c_i$ ), el valor atribuido como concentración de referencia a cada una de las concentraciones ensayadas, y que junto con su incertidumbre típica ( $u_{c_i}$ ) se ajusta al propósito del ejercicio de intercomparación.

Para la determinación del valor asignado se emplean como valores de referencia los determinados por los analizadores del ACA con trazabilidad a materiales de referencia certificados.

Para cada concentración de gas, el valor asignado se determina como el valor promedio de las mediciones realizadas por el analizador ISCIII\_A y el analizador ISCIII\_B:

$$c_i = \frac{X_{i,ISCIII\_A} + X_{i,ISCIII\_B}}{2}$$

donde

$c_i$  es el valor asignado para cada concentración ensayada de  $O_3$ , según corresponda, durante el ejercicio de intercomparación, en nmol/mol

$X_{i,ISCIII\_A}$  es la concentración medida de  $O_3$ , según corresponda, por el analizador ISCIII\_A, en nmol/mol

$X_{i,ISCIII\_B}$  es la concentración medida de  $O_3$ , según corresponda, por el analizador ISCIII\_B, en nmol/mol

La incertidumbre típica de medida de la mezcla de gas se determina para cada analizador, a partir de la incertidumbre típica de calibración del analizador y de la incertidumbre típica de repetibilidad de las 3 mediciones que se informan. Finalmente, la incertidumbre típica del valor asignado, se calcula considerando las incertidumbres típicas de medida con cada analizador y la incertidumbre típica de uniformidad descrita en el apartado 5.5.1.

La tabla 10 muestra los valores asignados y la incertidumbre típica asociada a los mismos, para cada concentración generada de  $O_3$ .

	<b>O<sub>3</sub></b>	
	<b>c<sub>i</sub> (nmol/mol)</b>	<b>u<sub>c<sub>i</sub></sub> (nmol/mol)</b>
<b>c1</b>	118,24	1,84
<b>c2</b>	27,79	0,75
<b>c3</b>	98,39	1,58
<b>c4</b>	45,75	0,93
<b>c5</b>	65,41	1,16

Tabla 10.- Valor asignado e incertidumbre típica asociada al mismo, para cada concentración generada de  $O_3$



### 5.1.3 Comprobación por comparación del valor asignado y su incertidumbre típica con parámetros obtenidos por estadística robusta

El valor asignado para cada una de las concentraciones ensayadas se compara con el valor obtenido por métodos estadísticos robustos que evitan la influencia de valores extremos. Para la determinación de la media robusta ( $x^*$ ) y de su desviación típica ( $s^*$ ), se han seguido las directrices establecidas en el Algoritmo A del Anexo C de la Norma ISO 13528:2015, que se apoya en propiedades de la mediana que no se ven afectados por el tipo de población existente.

El sistema del algoritmo A, establecido en la Norma ISO 13528, se basa en la realización de un proceso reiterativo hasta la convergencia de los datos obtenidos, para finalmente obtener un valor central como media y una desviación típica robusta, a partir de los datos de los laboratorios participantes.

Seguidamente, se determina la diferencia entre la media robusta y el valor asignado, ( $|x^* - c_i|$ ) y la incertidumbre típica de dicha diferencia ( $u(x^*-c_i)$ ) estimada de acuerdo con la ecuación:

$$u_{(x^*-c_i)} = \sqrt{\frac{(1,25 \times s^*)^2}{p} + u_{c_i}^2}$$

donde

- $s^*$  es la desviación típica de la media robusta  $x^*$
- $p$  es el número de mediciones realizadas
- $u_{c_i}$  es la incertidumbre típica del valor asignado

si la diferencia  $|x^* - c_i|$  es menor o igual a dos veces su incertidumbre se considera correcto el valor asignado ( $c_i$ ), si es superior a dos se debe investigar el motivo y se toma como valor asignado el valor obtenido para  $x^*$ .

La tabla 11 muestra los valores asignados  $c_i$  y su incertidumbre típica asociada  $u_{c_i}$ , la media robusta ( $x^*$ ) y la desviación típica robusta ( $s^*$ ) obtenida tras la aplicación del algoritmo A, la diferencia  $|x^* - c_i|$ , y el cumplimiento con el criterio de aceptación establecido para la aceptación del valor asignado de  $O_3$ .

	$c_i$ (nmol/mol)	$u_{c_i}$ (nmol/mol)	$x^*$ (nmol/mol)	$s^*$ (nmol/mol)	$u_{x^*}$ (nmol/mol)	$ x^* - c_i $ (nmol/mol)	$u_{ x^* - c_i }$ (nmol/mol)	CUMPLIMIENTO
c1	118,24	1,84	117,91	3,13	1,75	0,33	2,91	VÁLIDO
c2	27,79	0,75	27,80	1,20	0,68	0,01	1,16	VÁLIDO
c3	98,39	1,58	98,47	3,40	1,90	0,08	2,92	VÁLIDO
c4	45,75	0,93	45,74	1,67	0,93	0,01	1,52	VÁLIDO
c5	65,41	1,16	65,47	2,36	1,32	0,06	2,06	VÁLIDO

Tabla 11.- Valor asignado, incertidumbre típica del valor asignado, media robusta, desviación típica robusta, diferencia  $|x^* - c_i|$ , incertidumbre típica de la diferencia  $|x^* - c_i|$  y cumplimiento del criterio de aceptación del valor asignado para  $O_3$

Todos los valores asignados  $c_i$  son compatibles con los valores obtenidos por estadística robusta, por lo que la evaluación del desempeño se realizará tomando como valores asignados de  $O_3$  e incertidumbres típicas de los mismos, los valores medidos por los analizadores del ISCIII que se mostraban en la tabla 10.

#### 5.5.4 Determinación de la desviación típica para la evaluación del desempeño

Para la determinación de la desviación típica objetivo, se ha seguido el procedimiento usado por la Asociación de Laboratorios Nacionales de Referencia de Calidad del Aire en Europa (AQUILA), específico para ejercicios de intercomparación de gases en aire ambiente, según el cual la desviación típica se determina para el rango de aplicación de la comparación, por regresión lineal.

La regresión lineal se ha realizado entre el valor medido del gas de dilución y la repetibilidad permitida para ozono en el límite superior del rango de la comparación. De acuerdo con la Norma UNE-EN 14625:2013, la desviación típica de repetibilidad permitida en el gas de rango es el 2,0 %.

La dispersión se calcula según la siguiente ecuación para cada concentración [ ] ensayada durante la comparación.

$$\hat{\sigma} = a \times [ ] + b$$

donde

$\hat{\sigma}$  es la desviación típica objetivo del ejercicio de intercomparación

a es la pendiente obtenida de la regresión lineal

b es el término independiente de la regresión lineal

[ ] es la concentración ensayada durante la comparación

Los valores de a y b obtenidos para el presente ejercicio de intercomparación son:

$$a = 0,012 \quad y \quad b = 1$$

La tabla 12 muestra los valores de  $\hat{\sigma}$  obtenidos para cada concentración de  $O_3$ . El valor de  $\hat{\sigma}$  obtenido se utilizará para la determinación del estadístico de desempeño z'score, pertinente.

	$\hat{\sigma} (O_3)$
<b>c1</b>	2,5
<b>c2</b>	1,3
<b>c3</b>	2,2
<b>c4</b>	1,6
<b>c5</b>	1,8

Tabla 12.- Valores de  $\hat{\sigma}$  obtenidos para cada concentración de  $O_3$

## 6 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

La evaluación del desempeño de los laboratorios participantes, se realiza a partir de los siguientes estadísticos:

- Estimación del sesgo del laboratorio
- Determinación del z'score
- Número  $E_n$

### 6.1 Estimación del sesgo del laboratorio

Considerando  $x_i$  como el resultado informado por los laboratorios participantes para cada concentración de gas ensayada, se estima el sesgo  $S$  como:

$$S = x_i - c_i$$

donde  $c_i$  es el valor asignado.

Los criterios establecidos para la evaluación del sesgo son:

$ S  \leq 2,0 \times \hat{\sigma}$	Resultados satisfactorios
$3,0 \times \hat{\sigma} \geq  S  > 2,0 \times \hat{\sigma}$	Resultados cuestionables
$ S  > 3,0 \times \hat{\sigma}$	Resultados no satisfactorios

Las tablas 13, 14, 15, 16 y 77 muestran el valor del sesgo ( $S$ ) expresado en nmol/mol y el error relativo (ER) expresado en %, obtenidos por cada uno de los participantes con respecto al valor asignado a cada concentración de  $O_3$ .



c1	x* = 118,24 nmol/mol	EA nmol/mol	ER
A_1	119,14	-0,89	-0,8%
B_1	126	-7,76	-6,6%
C_1	116,37	1,87	1,6%
D_1	113,78	4,46	3,8%
E_1	118,01	0,23	0,2%

Tabla 13. – Sesgo y error relativo de los participantes para la concentración c1 de O<sub>3</sub> (118,24 nmol/mol)

c2	x* = 27,79 nmol/mol	EA nmol/mol	ER
A_1	28,22	-0,43	-1,6%
B_1	29,3	-1,51	-5,4%
C_1	27,14	0,65	2,3%
D_1	26,47	1,32	4,7%
E_1	27,88	-0,09	-0,3%

Tabla 14. – Sesgo y error relativo de los participantes para la concentración c2 de O<sub>3</sub> (27,79 nmol/mol)

c3	x* = 98,39 nmol/mol	EA nmol/mol	ER
A_1	98,90	-0,52	-0,5%
B_1	106	-7,61	-7,7%
C_1	96,99	1,40	1,4%
D_1	94,45	3,94	4,0%
E_1	98,82	-0,43	-0,4%

Tabla 15. – Sesgo y error relativo de los participantes para la concentración c3 de O<sub>3</sub> (98,39 nmol/mol)

c4	x* = 45,75 nmol/mol	EA nmol/mol	ER
A_1	45,89	-0,14	-0,3%
B_1	49,2	-3,45	-7,5%
C_1	44,99	0,76	1,7%
D_1	43,41	2,34	5,1%
E_1	46,03	-0,28	-0,6%

Tabla 16. – Sesgo y error relativo de los participantes para la concentración c4 de O<sub>3</sub> (45,75 nmol/mol)

c5	x* = 65,41 nmol/mol	EA nmol/mol	ER
A_1	65,75	-0,34	-0,5%
B_1	70,75	-5,34	-8,2%
C_1	64,45	0,96	1,5%
D_1	62,42	2,99	4,6%
E_1	65,72	-0,31	-0,5%

Tabla 17. – Sesgo y error relativo de los participantes para la concentración c5 de O<sub>3</sub> (65,41 nmol/mol)

Las figuras 2, 3, 4, 5 y 6 muestran el grado de cumplimiento de los criterios de aceptación establecidos para la evaluación del sesgo de los participantes, para cada una de las concentraciones ensayadas.

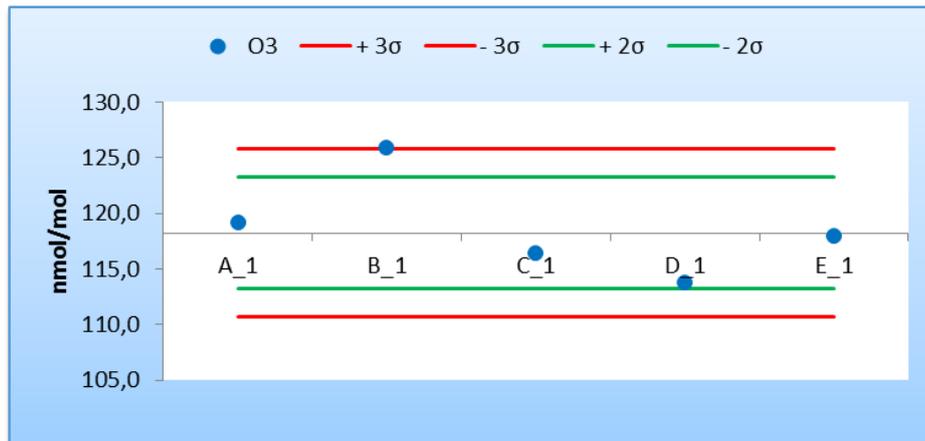


Figura 2 - Resultados y cumplimiento de los criterios de aceptación de sesgo de los laboratorios participantes para la concentración c1 de O<sub>3</sub> (118,24 nmol/mol)

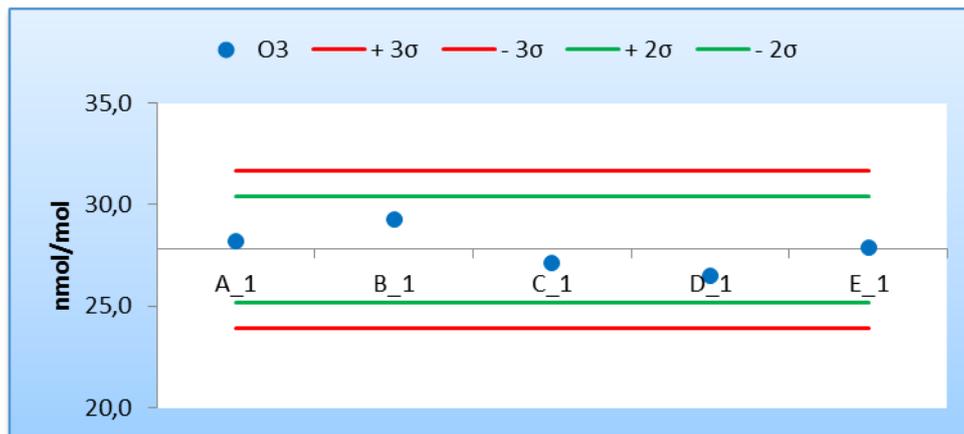


Figura 3 - Resultados y cumplimiento de los criterios de aceptación de sesgo de los laboratorios participantes para la concentración c2 de O<sub>3</sub> (27,79 nmol/mol)

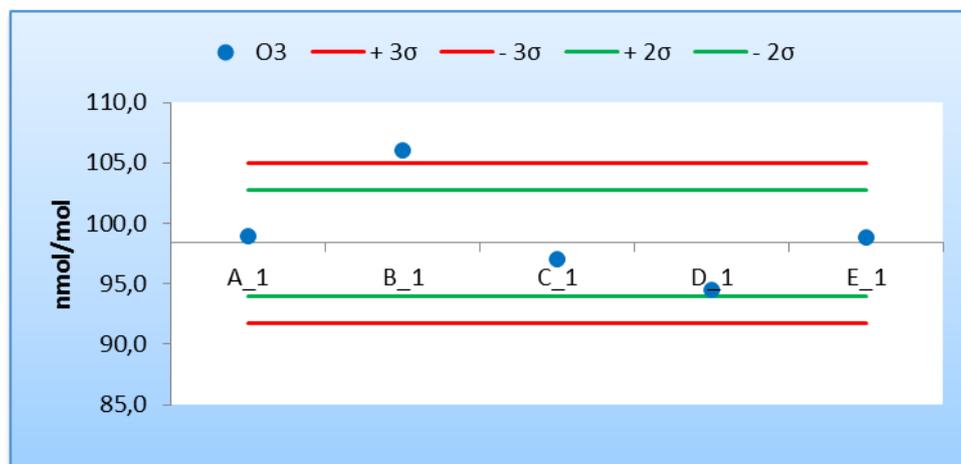


Figura 4 - Resultados y cumplimiento de los criterios de aceptación de sesgo de los laboratorios participantes para la concentración c3 de O<sub>3</sub> (98,39 nmol/mol)

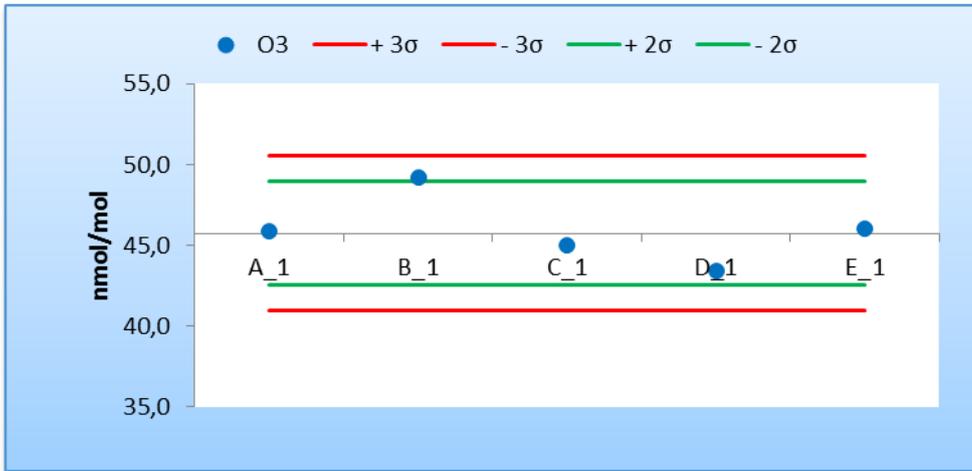


Figura 5 - Resultados y cumplimiento de los criterios de aceptación de sesgo de los laboratorios participantes para la concentración c4 de O<sub>3</sub> (45,75 nmol/mol)

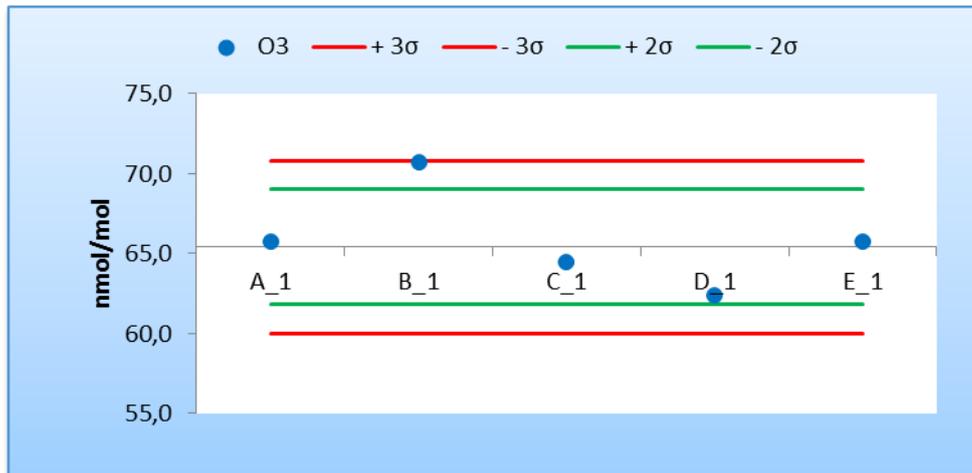


Figura 6 - Resultados y cumplimiento de los criterios de aceptación de sesgo de los laboratorios participantes para la concentración c5 de O<sub>3</sub> (65,41 nmol/mol)

La tabla 18, muestra un resumen de los resultados obtenidos por los distintos participantes para el valor de sesgo en la intercomparación de O<sub>3</sub>.

	c1	c2	c3	c4	c5
A_1	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
B_1	No Satisfactorio	Satisfactorio	No Satisfactorio	Cuestionable	Cuestionable
C_1	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio

D_1	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
E_1	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio

Tabla 18.- Resultados de sesgo obtenidos por los participantes para las distintas concentraciones de O<sub>3</sub> ensayadas

Excepto el participante B\_1, todos los participantes obtienen resultados de sesgo satisfactorios.

## 6.2 z' score

La determinación del z' score se realiza para comparar el desempeño del laboratorio participante con respecto al resto de participantes, teniendo en cuenta la desviación típica objetivo del ejercicio de intercomparación y la incertidumbre del valor asignado. El valor de z' score se calcula para cada concentración ensayada según la ecuación:

$$z' \text{ score} = \frac{|x_i - c_i|}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}} = \frac{|x_i - c_i|}{\sqrt{(a \times [C] + b)^2 + u_x^2}}$$

donde

- x<sub>i</sub> es la concentración informada por cada participante, en nmol/mol
- c<sub>i</sub> es el valor asignado, en nmol/mol
- $\hat{\sigma}$  es la desviación típica objetivo del ejercicio de intercomparación, en nmol/mol
- a es la pendiente obtenida de la regresión lineal
- b es el termino independiente de la regresión lineal
- u<sub>x</sub> es la incertidumbre típica del valor asignado, en nmol/mol

Los criterios establecidos para la evaluación del z' score son:

- |z' score| ≤ 2: resultados satisfactorios
- 2 < |z' score| ≤ 3: resultados cuestionables
- |z' score| > 3: resultados no satisfactorios

Los resultados de z' score se muestran en la figura 7, para todas las concentraciones de O<sub>3</sub> ensayadas y agrupadas por participantes.

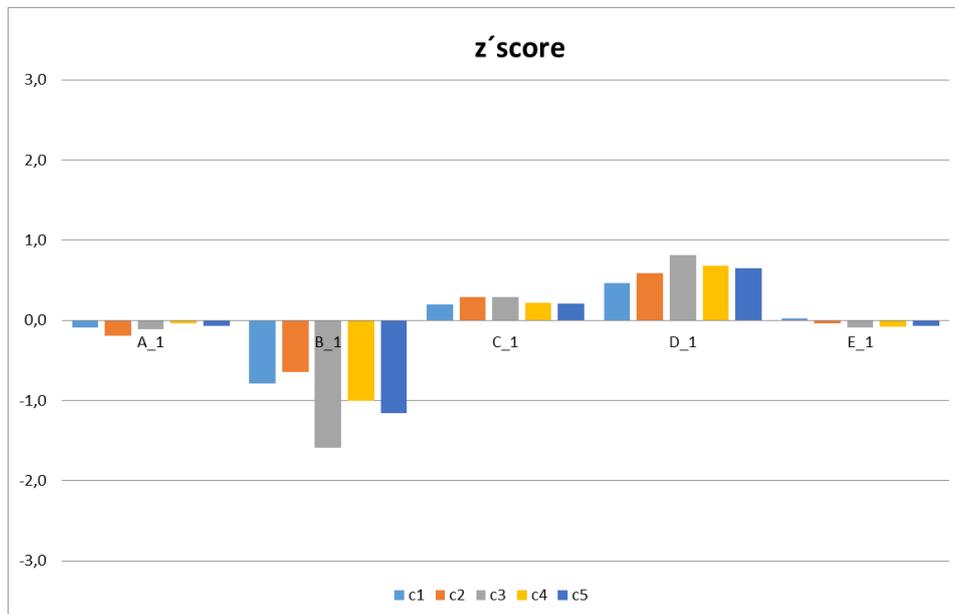


Figura 7 - Resultados de z'score para todos los participantes y todas las concentraciones de O<sub>3</sub> ensayadas

Todos los resultados de z'-score son satisfactorios.

### 6.3 Número E<sub>n</sub>

La determinación del estadístico E<sub>n</sub> permite evaluar la compatibilidad del valor medido por los participantes y el valor asignado, considerando la incertidumbre de medida asignada a ambos. Se realiza de acuerdo con la ecuación:

$$E_n = \frac{|x_i - c_i|}{\sqrt{U_{xi}^2 + U_{ci}^2}}$$

donde

x<sub>i</sub> es el valor medido por cada uno de los participantes, en nmol/mol

c<sub>i</sub> es el valor asignado como concentración de referencia, en nmol/mol

U<sub>xi</sub> es la incertidumbre expandida informada por cada participante, en nmol/mol

U<sub>ci</sub> es la incertidumbre expandida del valor asignado, en nmol/mol

Los criterios de aceptación de los valores de E<sub>n</sub> son:

$E_n \leq 1,0$ : resultados satisfactorios

$E_n > 1,0$ : resultados no satisfactorios

La tabla 19 muestra los resultados de  $E_n$  obtenidos por los distintos participantes para todas las concentraciones ensayadas.

E <sub>n</sub>					
	c1	c2	c3	c4	c5
A_1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
B_1	-0,6	-0,3	-0,7	-0,6	- 0,7
C_1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
D_1	0,8	0,3	0,8	0,5	0,6
E_1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0

Tabla 19.- Resultados del estadístico  $E_n$  para todos los participantes y todas la concentraciones de  $O_3$  ensayadas

Todos los participantes obtienen valores de  $E_n \leq 1,0$  en todos los casos.

En la figura 8, se muestra el sesgo de cada participante  $|x_i - c_i|$  con respecto al denominador de la ecuación del estadístico  $E_n$ . Dicho gráfico, permite observar de manera rápida qué laboratorios obtienen resultados satisfactorios (los laboratorios, en los que las barras de error toquen el eje de abscisas se corresponderán con valores de  $E_n \leq 1,0$ , y por tanto satisfactorios).

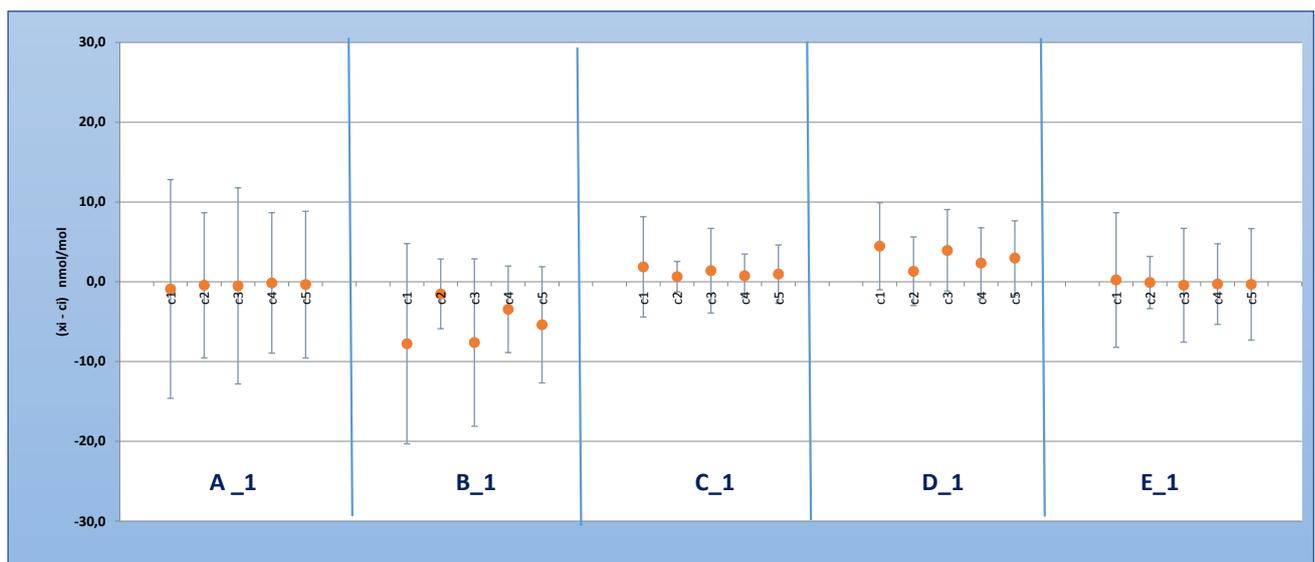


Figura 8.- Representación gráfica del sesgo de cada participante  $|x_i - c_i|$  con respecto al denominador de la ecuación del estadístico  $E_n$  para las concentraciones de  $O_3$

#### 6.4 Interpretación de los resultados

Para la interpretación de los resultados del ejercicio de intercomparación a partir de los estadísticos  $z'$  score y  $E_n$ , se ha desarrollado el siguiente diagrama, en el que se establecen 6 categorías (a1 a a6), definidas como:

- a1: resultados completamente satisfactorios ( $z'$  score satisfactorio y  $E_n$  satisfactorio).
- a2: resultados satisfactorios ( $z'$  score satisfactorio), pero  $E_n$  no satisfactorio. El valor de la incertidumbre podría estar subestimado.
- a3: resultados cuestionables ( $z'$  score cuestionable), y  $E_n$  satisfactorio. La incertidumbre informada podría estar sobreestimada.
- a4: resultados cuestionables ( $z'$  score cuestionable), y  $E_n$  no satisfactorio.
- a5: resultados no satisfactorios ( $z'$  score no satisfactorio), y  $E_n$  satisfactorio. La incertidumbre informada podría estar sobreestimada.
- a6: resultados no satisfactorios ( $z'$  score y  $E_n$  no satisfactorios).

La figura 16 muestra el diagrama de categorías establecido para evaluar los resultados de la intercomparación:

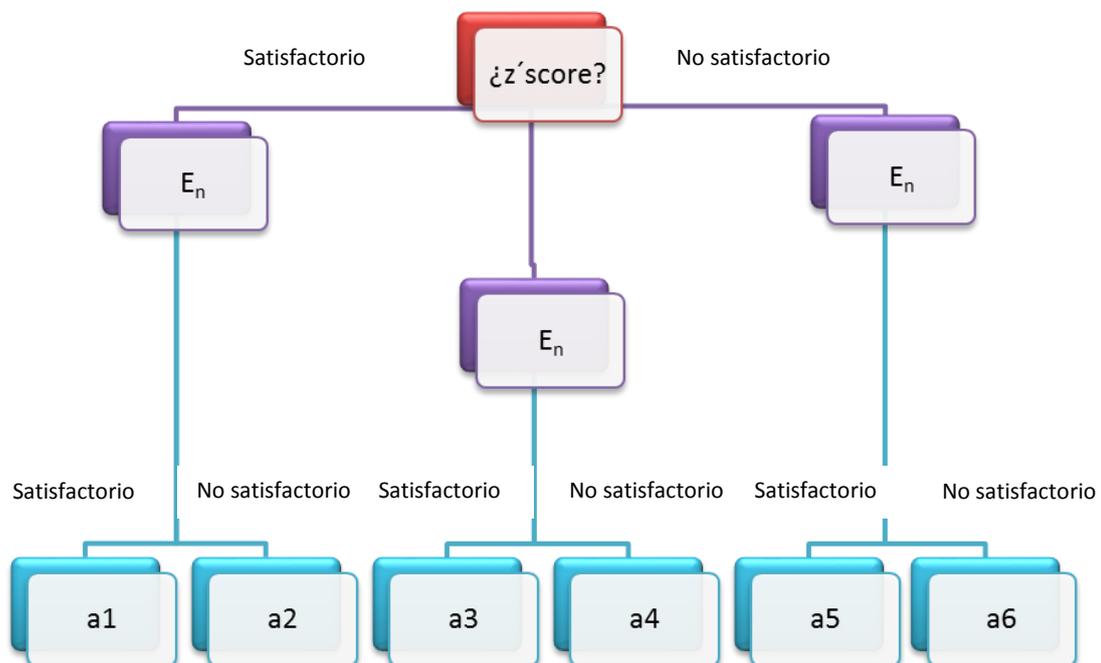


Figura 16.- Diagrama para la evaluación de los resultados obtenidos en el ejercicio de intercomparación

La tabla 20, muestra la categoría obtenida por cada participante para cada una de las concentraciones de O<sub>3</sub> ensayadas:

Laboratorio participante	Nivel de concentración	Categoría obtenida
<b>A_1</b>	c1	a1
	c2	a1
	c3	a1
	c4	a1
	c5	a1
<b>B_1</b>	c1	a1
	c2	a1
	c3	a1
	c4	a1
	c5	a1
<b>C_1</b>	c1	a1
	c2	a1
	c3	a1
	c4	a1
	c5	a1
<b>D_1</b>	c1	a1
	c2	a1
	c3	a1
	c4	a1
	c5	a1
<b>E_1</b>	c1	a1
	c2	a1
	c3	a1
	c4	a1
	c5	a1

Tabla 20.- Interpretación de los resultados obtenidos por cada participante para O<sub>3</sub>

## 6 SISTEMA DE CALIDAD SEGUIDO POR LOS PARTICIPANTES

Con el fin de conocer y evaluar las actividades de control de calidad, calibración y cálculo de incertidumbres desarrollado por cada uno de los organismos participantes, el ISCIII entregó a cada participante un cuestionario sobre la trazabilidad de sus medidas, las actividades de verificación y calibración llevadas a cabo y el cálculo de incertidumbre realizado.

La tabla 21 resume la información aportada por los participantes en relación con la última calibración realizada al analizador empleado en el ejercicio de intercomparación de O<sub>3</sub>.

PARTICIPANTE	Fecha/Lugar de calibración	Rango de calibración / nº de concentraciones ensayadas	Patrón de transferencia empleado	Incertidumbre de calibración
<b>A_1</b>	23/11/2016 ISCIII	0 nmol/mol a 250 nmol/mol. Nº de concentraciones ensayadas: 2	Véase la tabla 2	2,39 nmol/mol
<b>B_1</b>	23/11/2016 ISCIII	23 nmol/mol – 127,8 nmol/mol. Nº de concentraciones ensayadas: 5	Véase la tabla 2	de 3,0 nmol/mol a 9,9 nmol/mol
<b>C_1</b>	21/10/2016 No ISCIII	0 nmol/mol – 500 nmol/mol. Nº de concentraciones ensayadas: 4	Véase la tabla 2	0,11 nmol/mol en la concentración de 100 nmol/mol
<b>D_1</b>	21/11/2016 No ISCIII	0 nmol/mol a 200 nmol/mol. Nº de concentraciones ensayadas: 5	Véase la tabla 2	4,00
<b>E_1</b>	23/11/2016 ISCIII	5 nmol/mol a 250 nmol/mol. Nº de concentraciones ensayadas: 5	Véase la tabla 2	----

Tabla 20.- Información aportada por los participantes en relación con la última calibración realizada al analizador empleado en el ejercicio de intercomparación

Todos los participantes informan la realización de una calibración previa de O<sub>3</sub> a la participación en el ejercicio de intercomparación. El participante A\_1, ha realizado la calibración únicamente en dos puntos.

En relación a los patrones de transferencia empleados para la calibración de los analizadores todos los participantes emplean patrones de transferencia trazables a un patrón primario.

La tabla 21 resume la información aportada por los participantes en relación con la última verificación realizada al analizador empleado en el ejercicio de intercomparación.

PARTICIPANTE	Fecha/Lugar de verificación	Concentraciones ensayadas	Patrón de transferencia empleado
<b>A_1</b>	No informa	---	---
<b>B_1</b>	No informa	---	---



<b>C_1</b>	23/11/2016 ISCIII	0 nmol/mol y 475 nmol/mol	Véase la tabla 2
<b>D_1</b>	22/11/2016 ISCIII	0 nmol/mol, 75 nmol/mol, 125 nmol/mol, 150 nmol/mol y 200 nmol/mol	Véase la tabla 2
<b>E_1</b>	24/11/2016 ISCIII	0,5 nmol/mol – 202 nmol/mol	Véase la tabla 2

Tabla 21.- Información aportada por los participantes en relación con la última verificación realizada al analizador empleado en el ejercicio de intercomparación

Los participantes A\_1 y B\_1 no informan la realización de una verificación previa a la intercomparación. El resto de los participantes, han realizado para la verificación del analizador el mismo patrón de transferencia que el empleado para la calibración del mismo.

Finalmente, la tabla 22 resume la información aportada por los participantes en relación con los componentes de incertidumbre considerados en la estimación de la incertidumbre de medida durante el ejercicio de intercomparación.

PARTICIPANTE	Componentes					
	Calibración	Resolución	Repetibilidad	Deriva	Promedio	Otros componentes
<b>A_1</b>	X	X	X	X	X	Impureza aire cero; patrón de transferencia
<b>B_1</b>	X	X	X	X	---	Linealidad
<b>C_1</b>	X	X	X	X	X	Repetibilidad del cero. Variación de voltaje, temperatura, presión, temperatura circundante. Deriva cero. Pérdida de concentración en la línea de muestreo. Interferentes
<b>D_1</b>	X	---	X	X	X	
<b>E_1</b>	X	---	X	X	X	Repetibilidad del cero. Linealidad. Variación de voltaje, temperatura, presión, temperatura circundante. Deriva cero.





## **9 COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD DE LOS DATOS**

El ISCIII ha asignado a cada participante un código alfanumérico que solo le ha sido comunicado a él, de modo que pueda consultar sus resultados en el informe y no ser identificado por ningún otro participante u organismo externo sin su consentimiento

Por su parte, la aceptación de participación en estos ejercicios de intercomparación conlleva el compromiso por parte de los participantes de tratar como confidencial cualquier información obtenida durante su estancia en el laboratorio de intercomparaciones, relacionada con la realización y resultados del ejercicio.

Fecha de emisión: 17/05/2017