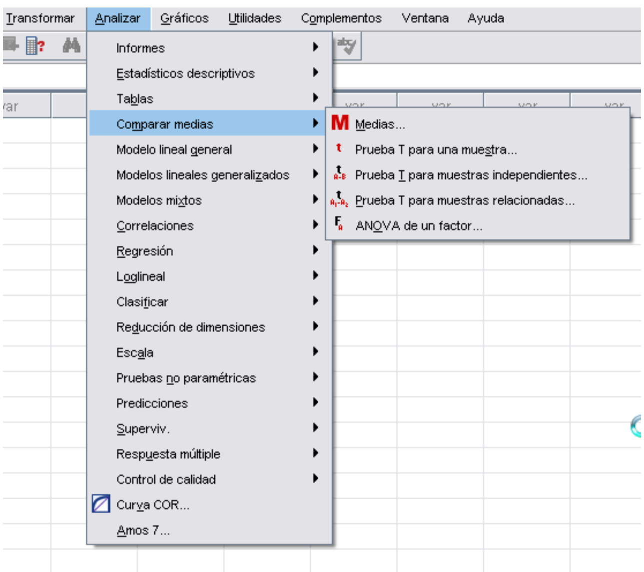
DISEÑO CON MÁS DE DOS CONDICIONES (A>2)

ANOVA unifactorial con A>2 y contraste de hipótesis específicas

Hasta ahora hemos ido desarrollando las pruebas parámetricas para contrastar hipótesis de un grupo frente a una constante, dos grupos independientes y dependientes mediante la *t* de Student y tambien hemos desarrollado el ANOVA unifactorial para diseños entresujetos e intra-sujetos con sólo dos grupos. Ahora nos vamos a detener un poco más en el contraste de hipótesis mediante Análisis de la Varianza (ANOVA) con una sola variable independiente o factor pero con más de dos grupos o condiciones de investigación (A>2). Por supuesto, todos los modelos pueden tener más de una variable independiente o factor (A, B, C...) configurando los diseños factoriales pero esa es una cuestión que se abordará con detalle en curso de Diseños de Investigación.

Análisis con el SPSS

El SPSS tiene un grupo de análisis dentro del menú **Analizar→Comparar Medias** donde se pueden ejecutar todas las técnicas de contraste de hipótesis que se han mencionado hasta el momento.



Nos vamos a detener en el último apartado: **ANOVA de un factor**. Dentro de este apartado se puede ejecutar un diseño de A=2 y de A>2. Es decir, se pueden ejecutar los diseños unifactoriales con un factor de 2 condiciones o con un factor que tenga más de dos condiciones (por ejemplo A=3). Cuando el diseño tiene un factor o variable independiente con **más** de dos condiciones será necesario recurrir a la opción de '**post-hoc**' (a posteriori) para poder descubrir entre qué pares de medias se encuentran las diferencias estadísticamente significativas. Y para ello es necesario que el profesional (investigador) **decida** qué prueba debe ejecutar a posteriori, teniendo en cuenta si se asume que las varianzas son iguales o no.

Por lo tanto, cuando la variable independiente tiene **más** de 2 condiciones, hay que analizar entre qué medias se producen las diferencias y en qué sentido.

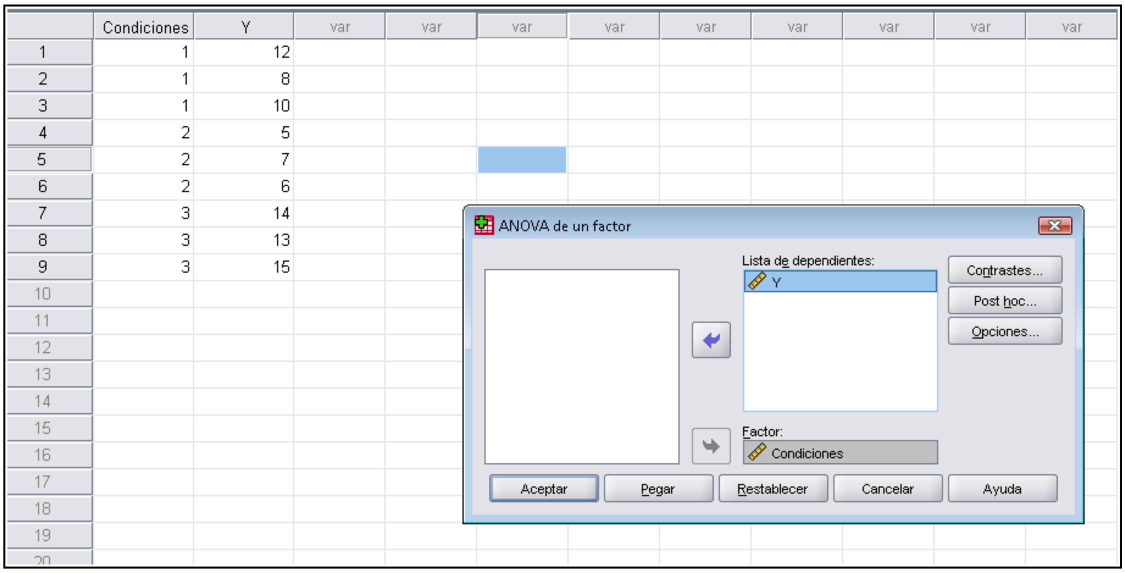
Los diferentes procedimientos de contrastes de hipótesis específicas se basan en la estimación de un valor de Rango Crítico obtenido a partir de una distribución concreta.

Supuesto de investigación y análisis con el SPSS

Supongamos que tenemos una investigación con los siguientes datos:

a_1= 12, 8, 10; a_2= 5, 7, 6 y a_3= 14, 13, 15

El investigador desea comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre esos tres grupos y también entré qué par de grupos se encuentran las diferencias que son estadísticamente significativas. Si ejecutamos el ANOVA y en el apartado de Opciones seleccionamos descriptivos y prueba de homogeneidad de las varianzas, el resultado señala la siguiente relación entre las condiciones.



Relación entre las tres condiciones de investigación: ¿existe alguna diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las tres condiciones?

ANOVA de un factor

[Conjunto_de_datos0]

Descriptivos

Y

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	3	10,00	2,000	1,155	5,03	14,97	8	12
2	3	6,00	1,000	,577	3,52	8,48	5	7
3	3	14,00	1,000	,577	11,52	16,48	13	15
Total	9	10,00	3,674	1,225	7,18	12,82	5	15

Prueba de homogeneidad de varianzas

Y

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,667	2	6	,548

ANOVA

Y

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	96,000	2	48,000	24,000	,001
Intra-grupos	12,000	6	2,000		
Total	108,000	8			

Los resultados señalan:

1. que las varianzas de las tres condiciones son homogéneas (Levene$_{(2,\ 6)}$=0.667, p=0.548)

2. Los resultados del ANOVA de un diseño unifactorial A=3 entre-sujetos señalan que existe alguna o algunas diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ($F_{(2,\ 6)}$=24, p=0.001).

Pero, la pregunta ahora es ¿dónde se encuentran las diferencias que son estadísticamente significativas? ¿Es la diferencia entre las medias de a_1-a_2? ¿Es la diferencientre las medias de a_1-a_3? O quizás ¿es la diferencia entre las medias de a_3-a_2? Las diferencias se valoran en términos de valores absolutos. El resultado del ANOVA no permite dar respuesta a esas comparaciones específicas entre los grupos. Cuando únicamente trabajábamos con dos medias (A=2) estaba claro que si el resultado del ANOVA señalaba que habían diferencias estadísticamente entre los grupos se trataba de la única diferencia posible: a_1-a_2. Pero ahora tenemos tres posibles diferencias de medias. ¿Cuál de ellas es estadísticamente significativa? ¿Son todas? ¿Es una? ¿Son dos? En las pruebas post-hoc de comparación de medias (también conocidas como pruebas a posteriori) encontramos la solución a esos interrogantes.

Antes de continuar recordemos cómo se desarrolla la ecuación estructural para el modelo planteado en el estudio:

$$Y=M+A+E$$

Las puntuaciones en la variable dependiente son igual a la constante (media general) + el efecto del tratamiento (Efecto A= Ma-M) + Error (Error=Y-M-A, es decir, Y-Ma).

Los efectos son a1=0 y a2= -4.

Y los errores son en a1= 2 y -2, en a2= -1 y 1 y en a3=0 y -1. Completa la tabla de efectos y desarrolla el modelo propuesto. Comprueba que la suma de los efectos es cero. Eleva al cuadrado y suma (Suma de Cuadrados, SC). Divide cada suma de cuadrados por sus grados de libertad (gl) (Medias Cuadráticas, MC) y ejecuta la prueba *F* del Análisis de la Varianza (*F* = MCefecto/MCerro). Después utiliza las tablas de la razón *F* y busca el valor teórico que corresponde a $F_{(0.05, 2, 6)}$. Compara los dos valores de *F* y si el valor de la *F* empírica del estudio es mayor o igual que el valor de la *F* teórica de las tablas entonces se puede rechazar la hipótesis nula (es decir, se rechaza la hipótesis nula cuando $F_{(2, 6)} \geq F_{(0.05, 2, 6)}$. Cuando utilizamos las tablas sólo podemos saber si el valor *p* de probabilidad del resultado de la prueba estadística es superior o menor al valor de alfa. Por eso, cuando se utilizan las tablas no podemos dar el valor exacto de probabilidad del resultado pero en nuestro ejemplo sí sabemos que $p < 0.05$ pues la *F* empírica es mayor que la *F* teórica. Por lo tanto, se puede completar el proceso de decisión estadística tal y como se efectúa en el contraste de hipótesis.

Cuando se trabaja con un programa estadístico (como por ejemplo SPSS; SAS...) ya no hace falta recurrir a las tablas de la distribución del estadístico. El mismo programa añade el valor exacto de probabilidad (valor *p*, a veces se señala como significación) junto al resultado de la prueba estadística. El investigador tiene que completar el proceso de contraste estadístico comparando el valor de *p* de probabilidad del resultado obtenido (o más extremo) con la prueba estadística con el valor del alfa fijado a priori en su investigación. Si el valor de $p \leq$ alfa entonces se puede rechazar la hipótesis nula. Siempre que se trabaja con un programa estadístico hay que anotar los valores p de probabilidad exactos incluso cuando las decisiones suponen mantener la hipótesis nula ($p >$ alfa). No es nada recomendable situar ‘ns’ para indicar un resultado no estadísticamente significativo. Recordemos que el valor *p* de probabilidad depende del efecto y del tamaño de la muestra. Así, manteniendo constante el efecto, si se aumenta la muestra disminuye el valor de probabilidad. Del mismo modo, si se disminuye el tamaño de la muestra entonces aumenta el valor *p* de probabilidad.

Comprobado que existe un efecto global en el Análisis de la Varianza tal y como se ha detallado en la salida del SPSS ($F_{(2, 6)} = 24$, p=0.001), vamos a abordar **entre qué pares de medias se encuentran las diferencias estadísticamente significativas**. Para ello, elaboramos la tabla de diferencias de medias entre los grupos o condiciones:

Medias	a1 media=10	a2 media=6	a3 media=14
a1 media=10	--	--	--
a1 media=6	4	--	--
a1	4	8	--

media=14			

Con un diseño A=3 existen tres diferencias de medias entre los grupos. ¿Cuál de ellas es estadísticamente significativa? Pasamos a ejecutar pruebas de contraste de hipótesis para comparar las medias de las condiciones experimentales.

Pruebas de contraste de hipótesis específicas

Una solución que se podría pensar es ejecutar pruebas *t* de Student dos a dos o ANOVAs para cada par de medias. Pero esta alternativa no se considera válida ya que está sujeta a una deficiencia metodológica grave como es aumentar la probabilidad del error de tipo I. Es decir, la tasa de error de tipo I por experimento deja de ser la planteada como alfa cuando se planificó el estudio. Para poder realizar esos contrastes estadísticos correctamente es necesario controlar el alfa por comparación.

La tasa de error de tipo I es:

$$\alpha_{\mathbf{PE}} = 1 - (1 - \alpha_{\mathbf{PC}})^{C}$$

Donde alfa por comparación, $\alpha_{\mathbf{PC}}$, es la probabilidad de cometer un error de tipo I en una comparación y el alfa por experimento, $\alpha_{\mathbf{PE}}$, es la probabilidad de cometer al menos un error de Tipo I en un conjunto de comparaciones (C).

Supongamos que tenemos un estudio donde se van a realizar 4 comparaciones o pruebas de contraste de hipótesis. Si todas las hipótesis nulas fueran ciertas y $\mathbf{a_{PC}}$ = 0.05 entonces la probabilidad de cometer al menos un Error de Tipo I es:

$\alpha_{\mathbf{PE}} = 1 - (1 - \mathbf{0.05})^{4} = 0.1855$

Ese valor de 0.1855 se aparta mucho del valor de alfa fijado a priori por el investigador en 0.05. Es decir, se tendría una probabilidad de error de Tipo I de 0.1855, que como sabemos es totalmente inadmisible. La probabilidad de rechazar una hipótesis nula siendo cierta es de 0.1855 (18,5%). La prueba de contraste de hipótesis se hace más liberal (se rechaza la hipótesis nula con mayor facilidad), aumentando el error de Tipo I. ¿Cómo se puede corregir ese sesgo que amenaza la validez de conclusión estadística de los resultados del estudio? La opción es ejecutar un procedimiento que haga a la prueba estadística **más conservadora** para equilibrar ese aumento del error de Tipo I. Todos los procedimientos de contraste específicos de hipótesis se basan en hacer el contraste más conservador. Es decir, se reduce el $\mathbf{a_{PC}}$ para poder controlar el $\mathbf{a_{PE}}$. La prueba se hace más conservadora.

En este punto el investigador debe tomar una decisión de nuevo: tiene que elegir la prueba de contraste de hipótesis específicas que controle correctamente la tasa de error de Tipo I y además que la potencia estadística sea máxima (menor error de Tipo II). Para ello, hay que considerar:

- el número de comparaciones (***C***) que la hipótesis plantea: **exhaustivas** (*a posteriori*) o **planificadas** (*a priori*)
- Si las hipótesis experimentales son **simples** (plantea diferencias *entre pares de medias*) o **complejas** (plantea alguna diferencia que implica *un promedio de medias*)

El contraste de hipótesis específicas es exhaustivo cuando se realizan todas las comparaciones posibles entre los padres de medias que tiene el diseño de investigación. Por ejemplo, si A=3 entonces el número de todos los pares posibles de diferencias de medias es igual a 3, ya que:

$$C = \frac{m(m-1)}{2}$$

Donde *m* es el número de medias que hay que comparar. C= 3(3-1)/2=3.

Cuando el número de comparaciones que hay que contrastar es más reducido (no se realizan de forma exhaustiva todas las comparaciones simples), el contraste se denomina contraste planificado o contraste a priori. Por ejemplo, si sólo se desean comparar a1-a2 y a-a3 entonces ya no es exhaustivo sino planificado. Para poder plantear contrastes a priori es necesario fundamentar esas opciones de contraste en unas hipótesis teóricas que den sentido a la elección de los contrastes o análisis que se quieren realizar. Por ejemplo, en un diseño con un grupo de control y dos grupos de tratamiento (A=3) podría ser interesantes comparar el grupo de control con uno de los grupos de tratamiento (contraste uno) y el grupo de control con el otro grupo de tratamiento (contraste dos). En este caso el investigador ha planteado dos contrastes o pruebas consideradas a priori, es decir, su planteamiento es previo a cualquier tipo de resultado del estudio.

Existen pruebas de contraste de hipótesis específicas para cada situación. En la siguiente figura se representan las situaciones en las que se podrían aplicar las *pruebas de hipótesis específicas*:

1. **Bonferroni**: hipótesis planificadas (a priori), simples y complejas.
2. **Dunnett**: hipótesis planificadas (a priori) y simples.
3. **DHS Tukey**: hipótesis exhaustivas y simples.
4. **Scheffé**: hipótesis planificadas, exhaustivas, simples y complejas.

Como se observa, hay situaciones donde se pueden aplicar varias pruebas de hipótesis específicas pero dependiendo de la situación hay unas pruebas que tienen más potencia estadística (menor error de Tipo II). De nuevo el investigador tiene que seleccionar aquella prueba que además de controlar el error de Tipo I también sea la que más potencia estadística tiene para detectar el efecto (menor error de Tipo II).

Veamos a continuación en qué situaciones de investigación es más apropiada una prueba estadística u otra dado que controlan la probabilidad del error de Tipo I en el nivel de alfa planteado por el investigador a priori y tienen el menor error de Tipo II.

El procedimiento **DHS de Tukey es el más potente cuando en el diseño se ejecutan todas las comparaciones posibles entre las medias (exhaustivo)** y además son comparaciones **simples** (es decir, se comparan dos medias cada vez y se ejecutan todas las posibles comparaciones simples del diseño). Se calcula el rango crítico (RC) vinculado a esta prueba y se compara con cada diferencia de medias. Si el valor de la diferencia de medias supera ese valor de rango crítico entonces se rechaza la hipótesis nula. Es decir, la diferencia entre el par de medias es estadísticamente significativa (p<alfa).

El procedimiento de **Dunnett** es el más potente cuando se trata de comparar la media de un grupo frente al resto de medias que tenga el diseño, es decir, se realizan a-1 comparaciones y además son comparaciones simples. Se calcula el rango crítico (RC) de Dunnett y se procede del mismo modo comparándolo con las diferencias de medias de la investigación.

La corrección de **Bonferroni** es el procedimiento más potente siempre que la hipótesis formule el número de comparaciones a priori aunque si C es grande (número de comparaciones) entonces la prueba es poco potente. Se puede aplicar con hipótesis simples y complejas. El procedimiento consiste en aplicar en cada comparación o prueba estadística (prueba t de Student, ANOVA, correlación) el siguiente valor de alfa:

Alfa= α_{PE} que se desea en el experimento / Número de comparaciones (C)

Por ejemplo si se formulan cuatro comparaciones o contrastes, el α_{PE} final se mantendrá en 0.05 si en cada comparación individual se utiliza un alfa por comparación igual a 0.0125 (0.05/4=0.0125):

$$\alpha_{PC} = \frac{\alpha_{PE}}{C}$$

Si ejecutamos el procedimiento de Bonferroni se puede comprobar que $\alpha_{PE} = 1 - (1- \mathbf{0.0125})^4 = 0.049$. Valor cercano al alfa de 0.05 fijado a priori por el investigador.

El procedimiento de **Scheffé** es válido en cualquier circunstancia pero normalmente es la prueba **menos potente**. Se calcula el rango crítico (RC) de Scheffé y se procede del mismo modo comparándolo con las diferencias de medias. Si el valor de la diferencia de medias iguala o supera al valor del Rango Crítico entonces se rechaza la hipótesis nula.

En la tabla siguiente se detalla 'el máximo' número de contrastes (comparaciones) que deberían probarse con el procedimiento de Bonferroni. Si el número de comparaciones es mayor entonces el procedimiento de

Bonferroni pierde potencia estadística y sería más conveniente optar por la prueba de Scheffé que en esas circunstancias es más potente que Bonferroni.

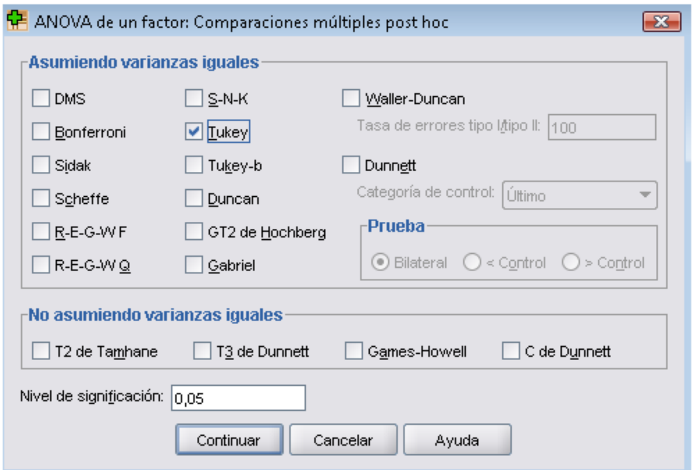
Máximn nº de contrastes que deberían probarse con el procedimento de Bonferroni

	Número de grupos							
glerror	3	4	5	6	7	8	9	10
5	2	4	8	12	17	24	31	40
6	2	5	9	14	21	30	41	55
7	2	5	10	16	25	37	52	71
8	2	6	11	18	29	44	64	89
9	2	6	12	20	33	51	75	107
10	2	6	12	22	37	58	87	127
12	3	7	13	25	43	70	110	166
14	3	7	14	28	49	82	132	205
16	3	7	15	30	54	93	153	243
18	3	7	16	32	58	103	173	281
20	3	7	17	33	63	112	191	316
30	3	8	18	39	78	147	267	470
40	3	8	20	43	87	170	320	586
50	3	8	20	45	94	187	360	674
60	3	8	21	47	98	199	390	743
70	3	9	21	48	102	209	414	799
80	3	9	21	49	105	217	433	844
90	3	9	22	50	107	223	449	882
100	3	9	2	50	109	228	462	913
110	3	9	2	51	111	232	473	941
120	3	9	22	51	112	236	483	964

Siguiendo con el ejemplo anterior, si las medias son las siguientes, ¿qué prueba de contraste de hipótesis específicas será la más adecuada para contrastar todas las diferencias entre los pares de medias? La más adecuada es aquella que controla el error de Tipo I en el nivel fijado previamente por el alfa y además es la prueba con mayor potencia estadística (menor error de Tipo II). Por lo tanto, si se trata de un diseño donde se plantean todas las comparaciones de medias dos a dos (comparaciones exhaustivas y simples) entonces la prueba más potente es DHS de Tukey. La prueba DHS (diferencia honestamente significativa) de Tukey es la elección más correcta desde el punto de vista de la validez de conclusión estadística.

Medias	a1 media=10	a2 media=6	a3 media=14
a1 media=10	--	--	--
a1 media=6	4	--	--
a1 media=14	4	8	--

Si ejecutamos el contraste de hipótesis DHS de Tukey con el SPSS se obtendrán los siguientes resultados.



Luego,

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Y
HSD de Tukey

(I) Condiciones	(J) Condiciones	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
1	2	4,000*	1,155	,031	,46	7,54
	3	-4,000*	1,155	,031	-7,54	-,46
2	1	-4,000*	1,155	,031	-7,54	-,46
	3	-8,000*	1,155	,001	-11,54	-4,46
3	1	4,000*	1,155	,031	,46	7,54
	2	8,000*	1,155	,001	4,46	11,54

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

Y

HSD de Tukey[a]

Condiciones	N	Subconjunto para alfa = 0.05: 1	2	3
2	3	6,00		
1	3		10,00	
3	3			14,00
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

La interpretación de los **subconjuntos** que ofrece el SPSS es muy útil para visualizar de forma rápida si hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias. Aquellas condiciones cuyas medias no difieren de forma estadísticamente significativa aparecen en la misma columna dentro del mismo subconjunto. Por el contrario, cuando dos medias difieren de forma estadísticamente significativa entre sí entonces aparecen en dos subconjuntos diferentes. En la tabla anterior se observa que cada media se encuentra en un subconjunto diferente indicando que las diferencias entre todos los pares de medias son estadísticamente significativas.

Si hubiésemos optado por ejecutar Bonferroni o Scheffé los resultados serían los siguientes.

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente:Y

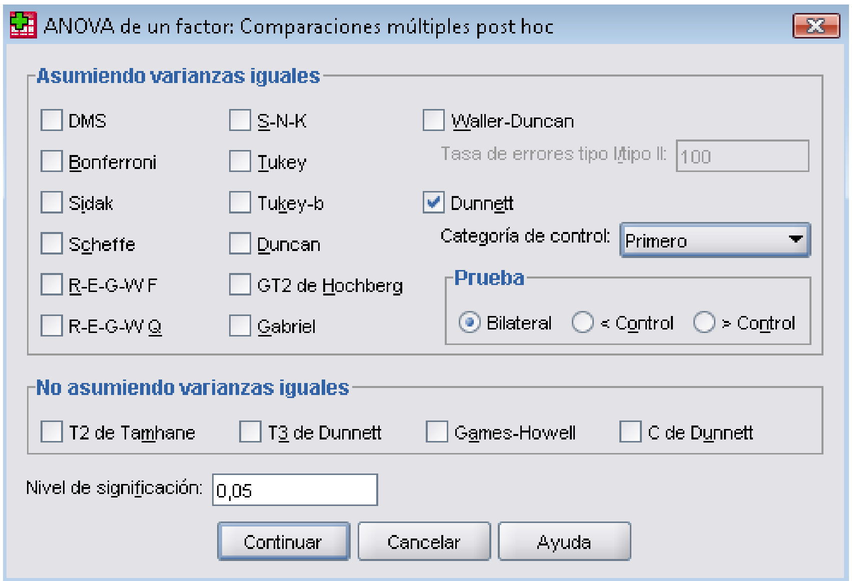
	(I) Condiciones	(J) Condiciones	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Scheffé	1	2	4,000*	1,155	,037	,30	7,70
		3	-4,000*	1,155	,037	-7,70	-,30
	2	1	-4,000*	1,155	,037	-7,70	-,30
		3	-8,000*	1,155	,001	-11,70	-4,30
	3	1	4,000*	1,155	,037	,30	7,70
		2	8,000*	1,155	,001	4,30	11,70
Bonferroni	1	2	4,000*	1,155	,040	,20	7,80
		3	-4,000*	1,155	,040	-7,80	-,20
	2	1	-4,000*	1,155	,040	-7,80	-,20
		3	-8,000*	1,155	,001	-11,80	-4,20
	3	1	4,000*	1,155	,040	,20	7,80
		2	8,000*	1,155	,001	4,20	11,80

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

La prueba de Scheffé es más potente (menor error de Tipo II) que Bonferroni ya que si miramos la tabla anterior (máximo número de contrastes (comparaciones) que deberían probarse con el procedimiento de Bonferroni) podemos comprobar que Bonferroni sería más potente si el máximo de comparaciones fuese de dos contrastes para un diseño con tres grupos y seis grados de libertad del error.

De todos modos para esa situación donde se realizan todas las comparaciones posibles dos a dos ya hemos visto que la prueba más potente es DHS de Tukey (p=0.031). Y esa sería la decisión más correcta para ese diseño y, por lo tanto, la que debería seleccionar el investigador para realizar sus hipótesis específicas.

En aquellas situaciones de investigación donde la prueba más adecuada es la de Dunnett (donde se realizan a-1 comparaciones simples) entonces será necesario indicar en el SPSS qué grupo es el de comparación (categoría de control) para que efectúe las a-1 comparaciones respecto a un determinado grupo. Por ejemplo, si la categoría de control es ‘Primero’ entonces eso significa que se va a comparar la media del primer grupo con las medias del resto de condiciones que tenga el diseño. En un estudio con A=3 las comparaciones que efectúa la prueba de Dunnett serían: a_1-a_2 y a_1-a_3.



Suponiendo que el investigador desea hacer *a*-1 comparaciones (3-1=2 contrastes) simples entonces la prueba de Dunnett ofrece el siguiente resultado en el SPSS. Como se observa sólo aparecen dos contrastes: la media del grupo a2 con la media del grupo a1 (la diferencia de medias es -4) y la media del grupo a3 con la media del grupo a1 (diferencia de medias de 4). Los resultados que ofrece el SPSS para poder tomar la decisión estadística de si se puede o no rechazar la hipótesis nula es el valor de significación (Sig.), es decir, el valor *p* de probabilidad del estadístico de comparación. El SPSS no informa del valor del Rango Crítico del estadístico aplicado sino que directamente informa del valor *p* de probabilidad. Otros programas estadísticos informan del valor *p* de probabilidad y también del valor de Rango Crítico.

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Y
t de Dunnett (bilateral)[a]

(I) Condiciones	(J) Condiciones	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
2	1	-4,000*	1,155	,024	-7,31	-,69
3	1	4,000*	1,155	,024	,69	7,31

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como control y lo comparan con todos los demás grupos.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Supuesto de investigación

Ahora vamos a analizar los datos del supuesto de investigación del fármaco Z.

Un investigador pretende comprobar la eficacia de un fármaco Z para incrementar la extroversión de los individuos. 12 voluntarios son asignados aleatoriamente a una de las tres condiciones experimentales siguientes. Se supone que el fármaco Z producirá mejores resultados que cualquiera de las otras dos sustancias que actualmente están comercializadas. El objetivo del estudio es comparar el efecto del fármaco Z respecto al fármaco A y el fármaco B. Los resultados del experimento son los siguientes.

Condición	Puntuaciones
Fármaco A	26, 22, 25, 23
Fármaco B	26, 25, 19, 22
Fármaco Z	35, 30, 32, 35

Qué procedimiento de análisis procede dada la hipótesis de investigación. Atendiendo únicamente a la tendencia de las medias, ¿se observa el planteamiento de la hipótesis sustantiva? Ejecutar el análisis de la varianza (ANOVA) y aplicar la prueba de contraste de hipótesis específica que sea más adecuada. Realizar un informe de los hallazgos.

Supuesto de investigación

Supongamos ahora que el investigador hubiese planteado analizar el efecto del fármaco Z respecto a la media de los fármacos A y B. Qué procedimiento de contraste de hipótesis específicas hubiese sido más adecuado. Ejecutar el análisis e interpretar los resultados.

Ejercicios de autoevaluación

Supuesto de investigación.

El sueño es muy importante en el desarrollo infantil y favorece la maduración. Los patrones electroencefalográficos (EEG) durante el sueño presentan cambios que, si no se tienen en cuenta, pueden confudirse con actividad clínica paroxística o alteraciones bruscas del trazado, aunque son fisiológicos, especialmente en los niños. En general, el EEG es uno de los estudios que suelen realizarse en los niños con problemas de aprendizaje ya que algunas investigaciones señalan que existe actividad paroxística (*hipersincronía hipnagógica*) en los niños con este problema.

Un investigador está interesado por el estudio de la relación entre la hipersincronía hipnagógica y las dificultades del aprendizaje. En un primer momento de su investigación planteó el siguiente estudio. Considerando que existe una relación lineal directa entre las variables objeto de estudio, de tal manera que mayor hipersincronía cuanto mayores son los problemas de aprendizaje, selecciona nueve niños de cinco años. Los nueve sujetos habían sido diagnósticados en sus Centros Escolares con un problema de trastornos del aprendizaje antes de comenzar el estudio. Aleatoriamente tres de ellos no recibieron ningún fármaco actuando como grupo de control (a_1), otros tres recibieron asistencia psicológica para su trastorno escolar (a_2) y el resto de niños recibió un fármaco que provocaba la relajación neuronal (a_3).

Una vez finalizado el tratamiento el investigador midió el nivel electroencefalográfico computando el número de alteraciones bruscas del trazado o cambios paroxísticos producidos. Su hipótesis señala que los niños que no son sometidos a ningún tipo de intervención tendrán un mayor número de alteraciones en el EEG, siendo el número menor cuando reciben tratamiento psicológico.

1. El investigador decide calcular una prueba de comparación de medias que le permita analizar el número total posible de comparaciones simples entre pares de medias. Cuántas comparaciones simples son posibles analizar sin ser redundantes:

a) 3.
b) 4.
c) 2.
d) No se puede responder a la pregunta.

2. Si el investigador decide realizar comparaciones de medias, la prueba estadística más adecuada estará guiada por:

a) Controlar la tasa de error de Tipo I y ser la más potente.
b) Controlar la tasa de exceso y ser exacta.
c) Controlar la tasa de error de Tipo I y trabajar con el menor Error de Tipo II.
d) No se puede responder a la pregunta.

3. Si el investigador hubiese planteado la comparación de la puntuación media del grupo control frente a las puntuaciones medias de todos los demás grupos de tratamiento, realizando comparaciones simples que hubiesen estado definidas a priori, la prueba de comparación de medidas más adecuada sería:

a) La prueba de Dunnett siempre que se realicen 2 comparaciones de medias.
b) La prueba de Dunnett siempre que se realicen 3 comparaciones de medias.
c) La prueba de Tukey siempre que se realicen más de 4 comparaciones de medias.
d) No se puede responder a la pregunta.