



UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

DEPARTAMENT DE PSIQUIATRIA

FACULTAT DE MEDICINA

PROGRAMA DE DOCTORAT: PSICOLOGIA MÈDICA
1993-1995

LA INTELIGENCIA GENERAL (*g*), LA
EFICIENCIA NEURAL Y EL ÍNDICE
VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN NERVIOSA:
UNA APROXIMACIÓN EMPÍRICA.

Tesis doctoral presentada por:

ROSA MARIA BONASTRE ROVIRA

Director:

Profesor Dr. JOSEP MARIA COSTA MOLINARI

Catedrático del Departament de Psiquiatria de la Facultat
de Medicina de la Universitat
Autònoma de Barcelona

Para optar al título de:

Doctora en Psicología.

Barcelona, 2004

JOSEP MARIA COSTA MOLINARI, Doctor en Medicina y Cirugía,
Catedrático de Psiquiatría de la Facultat de Medicina de la Universitat
Autònoma de Barcelona,

DECLARA:

Que la memoria presentada por Rosa Maria Bonastre Rovira para optar al grado de Doctora en Psicología con el título *La inteligencia general (g), la eficiencia neural y el índice velocidad de conducción nerviosa: Una aproximación empírica*, y que ha sido desarrollada bajo mi dirección, tiene las condiciones requeridas de calidad e interés científico, a más de constituir una aportación original en el tema tratado. En consecuencia, autorizo su presentación.

Barcelona, noviembre de 2004.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'JM Costa Molinari', written over a faint rectangular stamp.

Firmado: Dr. Josep Maria Costa Molinari

DEDICATORIA

Als meus pares amb tot l'amor.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

- ! A mis padres por todo.

- ! Al Dr. Josep Maria Costa Molinari, Catedrático de la Facultat de Medicina de la UAB, quien me admitió en su programa de doctorado: *Psiquiatria i Psicologia Mèdica* y accedió a dirigir esta Tesis. Al que, además, debo agradecerle profundamente sus consejos, su apoyo moral e infinita paciencia a lo largo del desarrollo de esta Tesis.

- ! Al Dr. Jordi Porta Manzanido, Profesor de l'INEFC, por el tiempo dedicado a asesorarme en aspectos técnicos del escaneado de las imágenes tomográficas que conforman este trabajo y por sus sugerencias, así como por su continuo apoyo moral.

- ! Al Dr. Adolf Tobeña Pallarés, Catedrático de la Facultat de Medicina de la UAB, por sus acertados comentarios y por darme siempre ánimos.

- ! Al Dr. Carles Aguilera Grijalbo del Institut del Diagnòstic per la Imatge (IDI) de Bellvitge (Barcelona) por su colaboración técnica en el diseño de los protocolos experimentales por resonancia magnética.

- ! Al Dr. Roberto Colom Marañón, Profesor de la Universidad Autónoma de Madrid, por los análisis de datos.

- ! Al Dr. Joan Guardia Olmos, Profesor de la Facultat de Psicologia de la UB, por la supervisión de los análisis estadísticos.

- ! A la Dra. Maria Luisa Honrrubia, Profesora de la Facultat de Psicologia de la UB, por habernos cedido el laboratori de Neurociència Cognitiva de la UB para la realización del estudio con potenciales evocados cerebrales.

- ! A mis compañeras de doctorado, la Sra. Lidia Solé y la Prof. Esther Álvarez, por el tiempo dedicado a la amistad.
- ! Al Sr. Luís Juárez y al Sr. Xavier Manuel por la revisión de estilo.
- ! A los Sres. Lluís Ibañez y Marc Antoni Sanchez, profesores de l'Aula Activa de l'UOC de l'Ajuntament de Masquefa, por su colaboración en los aspectos informáticos para la ilustración de la presente tesis.
- ! A las personas que colaboraron como sujetos experimentales, ya que ellos son los verdaderos protagonistas, sin los cuales esta investigación no habría podido realizarse.
- ! Al Sr. José María Valderas y a la Sra. Purificación Mayoral de Prensa Científica S. A. por la reproducción en la portada de esta Tesis de la fotografía de *Waters Desing Associates, Inc.*, publicada en la revista *Investigación y Ciencia*. Temas 17. Inteligencia Viva (1999).
- ! A todos mis amigos y amigas, especialmente a los de Masquefa, que se interesaron por el progreso de la Tesis y me dieron su apoyo moral.
- ! Al Departament de Personalitat de la Universitat de Barcelona por el soporte material y académico recibido.
- ! Al Departament de Psiquiatria de la Universitat Autònoma de Barcelona por la ayuda institucional y académica recibida.

Rosamaria Bonastre Rovira

Barcelona, 2004.

ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

ADN	Ácido Desoxirribonucleico.
AGV	<i>Grand Average</i> (Promediado electrónico).
AMP	<i>Advances Matrices Progressives</i> de Raven.
ANOVA	Análisis de varianza.
BAEP	<i>Brain Auditive Evoked Potentials</i> .
BIP	<i>Basic Information Processing</i> .
CBF	<i>Cerebral Blood Flow</i> .
CI	Cociente Intelectual.
CIM	Cociente Intelectual Manipulativo.
CIT	Cociente Intelectual de la escala total.
CIV	Cociente Intelectual Verbal.
CSF	Fluido cerebroespinal (<i>cerebral spinal fluid</i>).
CVP	Córtex Visual Primario.
Dia-Ext.	Medida del diámetro anteroposterior externo.
Dia-Int.	Medida del diámetro anteroposterior interno.
DZ	Dizigóticos.
EEG	Electroencefalograma.
ERP	<i>Evoked Brain Related Potentials</i> .
FCV	Factor de Comprensión Verbal del WAIS.
FMT	Factor de Memoria de Trabajo del WAIS.
FOP	Factor de Organización de la Percepción del WAIS.
FVP	Factor de Velocidad de Procesamiento del WAIS.
Gc	Inteligencia cristalizada.
Gf	Inteligencia fluida.
Gf-Gc	La teoría de la inteligencia fluida y de la inteligencia cristalizada de Cattell-Horn.
Gs	Capacidad amplia de velocidad de procesamiento.
Gsar	Memoria a corto término.
Gv	Capacidad amplia de procesamiento visuoespacial.
h²	Coefficiente estadístico de heredabilidad.
HD	Hemisferio derecho.
HI	Hemisferio izquierdo.
HSB	Hiperintensidad de sustancia blanca.
IHTT	Índice de transmisión interhemisférica.
IPL	Latencia interpico de los BAEP.
MAB	Batería Muldimensional de Aptitudes
MCP	Memoria a corto plazo.
MEG	Magnetoencefalografía.
MG	Materia gris.
MLP	Memoria a largo plazo.
MZ	Monozigóticos.

NGL	Núcleo Geniculado Lateral.
NO	Nervio óptico.
NO-Ocp.	Medida segmentada de la vía visual.
PA	Potencial de Acción.
PCE	Procesos Cognitivos Elementales (<i>Elementary Cognitive Processes, ECP</i>).
PFC	Córtex Prefrontal.
PI	Procesamiento de la Información.
QO	Quiasma Óptico.
RM	Resonancia Magnética.
fRM	Resonancia Magnética funcional.
RNA	Ácido ribonucleico.
RO	Radiación Óptica.
TAC	Tomografía Axial Computerizada.
TC	Tomografía Computerizada.
TCE	Tareas Cognitivas Elementales (<i>Elementary Cognitive Task, ECT</i>).
TD	Tiempo de Decisión.
TEP	Tomografía por Emisión de Positrones.
TI	Tiempo de Inspección.
TM	Tiempo de Movimiento.
TO	Tracto Óptico.
TR	Tiempo de Reacción.
TRE	Tiempo de Reacción de Elección.
SB	Sustancia blanca.
SEP	Potenciales Evocados Somatosensoriales.
SNC	Sistema Nervioso Central.
SNP	Sistema Nervioso Periférico.
VCN	Velocidad de Conducción Nerviosa.
VCNP	Velocidad de Conducción Nerviosa Periférica.
VEP	<i>Visual Evoked Potentials.</i>
VIP	Velocidad del Procesamiento de la Información.
WAIS	Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos.
WM	<i>Working memory.</i>

RESUMEN

RESUMEN

Para valorar la asociación de las diferencias individuales en inteligencia psicométrica (CI) con las diferencias en eficiencia neural, utilizamos los potenciales evocados cerebrales visuales (VEP) y el índice de la velocidad de conducción nerviosa (VCN) en la vía visual derivado de ellos. En una muestra de 20 sujetos (10 mujeres y 10 hombres) se registró la latencia P100 de los VEP (el primer potencial eléctrico transitorio registrado sobre el córtex visual primario), se tomaron medidas de longitud de la vía visual mediante resonancia magnética (RM), y se aplicaron los tests de Wechsler y las AMP de Raven para las medidas de inteligencia psicométrica o cociente intelectual (CI). Mediante los ANOVA no se hallaron diferencias significativas entre mujeres y hombres para ninguno de los parámetros neurofisiológicos (latencias y amplitudes) de los VEP, ni para ninguno de los valores del índice de la VCN neurovisual, ni para ninguna de las medidas psicométricas de inteligencia general, mientras, y era de esperar, sí se hallaron diferencias significativas en las medidas de longitud (tamaño) de la cabeza por RM. Los resultados no muestran correlación entre el parámetro tiempo medido por de latencia P100 o las medidas de velocidad de los VEP y las medidas psicométricas de inteligencia fluida (Gf). Este resultado no soportaría la hipótesis del tiempo de la transmisión neural rápida para la inteligencia general (g). La longitud (tamaño) de la cabeza no fue correlacionada con los parámetros de los VEP, pero sí fue correlacionada con las medidas psicométricas tanto de inteligencia cristalizada (aritmética) como de inteligencia fluida (no verbal). En el análisis fueron utilizadas las medidas de la longitud de la cabeza (distancia) y la latencia P100 (tiempo de transmisión neural) para calcular el cociente de velocidad (distancia/tiempo) del índice denominado VCN neurovisual (subcortical) que presentó un patrón de correlaciones positivas con las medidas psicométricas de inteligencia no verbal (CI) de aproximadamente ($r=0.40-50$) (significativas después de aplicar el contraste de Bonferroni). Sin embargo, a pesar de los resultados, la magnitud y consistencia de la correlación posiblemente venga explicada y determinada más por el efecto de la covariante de longitud (tamaño) de la cabeza que por el efecto de las diferencias en las variables biológicas (neurofisiológicas) de los VEP. Desde el punto de vista conceptual, la exploración de la asociación entre la inteligencia psicométrica y la eficiencia neural mediante la introducción del indicador VCN no está clara a nivel (elemental) de los procesos biológicos de la información.

Palabras clave: Inteligencia general/ fluida / razonamiento, cociente intelectual, potenciales evocados cerebrales visuales, resonancia magnética, tiempo de transmisión neural, velocidad de conducción nerviosa, eficiencia neural del procesamiento de la información.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.	I
AGRADECIMIENTOS.	II
ABREVIATURAS.	IV
RESUMEN.	VI
ÍNDICE GENERAL.	VII
ÍNDICE CAPÍTULOS.	VIII
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.	XII
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.	1
OBJETIVOS.	8
Capítulo 2. LA INTELIGENCIA GENERAL.	10
Capítulo 3. LA APROXIMACIÓN PSICOMÉTRICA AL ESTUDIO DE LA INTELIGENCIA.	23
Capítulo 4. EL REDUCCIONISMO EN EL ESTUDIO DE LA INTELI- GENCIA: DE LA APROXIMACIÓN COGNITIVA A LA APROXIMACIÓN BIOLÓGICA.	39
Capítulo 5. MÉTODO.	119
Capítulo 6. RESULTADOS.	169
Capítulo 7. DISCUSIÓN.	236
Capítulo 8. CONCLUSIONES.	255
Capítulo 9. REFERENCIAS.	257
Capítulo 10. APÉNDICE.	278

ÍNDICE CAPÍTULOS

ÍNDICE CAPÍTULO II

II.- LA INTELIGENCIA GENERAL.	10
1. Evolución del concepto de la inteligencia humana.	10
2. Introducción histórica del constructo <i>g</i> : La teoría de Spearman.	13
3. El concepto de inteligencia general.	15

ÍNDICE CAPÍTULO III

III.- LA APROXIMACIÓN PSICOMÉTRICA AL ESTUDIO DE LA INTELIGENCIA.	23
1. Teorías y modelos de la inteligencia.	23
2. El factor <i>g</i> y la teoría de Cattell-Horn.....	26
3. El test de Wechsler y la teoría de <i>g</i>	31
3.1. Fundamentos teóricos.	32
3.2. Los factores de inteligencia psicométrica del WAIS.	36

ÍNDICE CAPÍTULO IV

IV.- EL REDUCCIONISMO EN EL ESTUDIO DE LA INTELIGENCIA: DE LA APROXIMACIÓN COGNITIVA A LA BIOLÓGICA.	39
1.- La velocidad del procesamiento de la información en la aproximación cognitiva.	41
1.1.- El Procesamiento Simple versus el Procesamiento complejo.....	44
1.2.- Las medidas conductuales de velocidad del PI.	48
1.3.- Interpretación y significado de las relaciones entre los indicadores de velocidad del PI y <i>g</i>	54

2.- Actividad cerebral, utilización de indicadores psicofisiológicos y su relación con <i>g</i> en la aproximación biológica.	56
2.1.- EEG Y ERP.	57
2. 1. 1. Los VEP en el procesamiento básico de la información.....	61
2. 1. 1. 1. Fundamentos de los VEP.....	62
2. 1. 1. 1. 1.Los componentes del complejo de onda (P1, N1 y N2).....	62
2. 1. 1. 1. 2. La latencia P100.	64
2. 1. 1. 1. 3.Localización neuroanatómica de los generadores neurales de la P1.	65
2. 1. 1. 2. Factores que influyen en la variabilidad del registro de los VEP.....	69
2. 1. 1. 3. El procesamiento neurovisual de la información.....	72
2. 2.- Indicadores cerebrales funcionales de velocidad-eficiencia y su relación con <i>g</i>.	75
2. 2. 1. Los potenciales evocados sensoriales.....	75
2. 2. 2. Teorías biológicas subyacentes.	81
2. 2. 2. 1. La teoría de la adaptabilidad neural.	82
2. 2. 2. 2. La teoría de la eficiencia neural de Hendrickson.....	82
2. 2. 3. El índice de la Velocidad de Conducción Nerviosa (VCN)...	85
2. 2. 3. 1.Técnicas electroneurográficas para el cálculo de la VCN.....	86
2. 2. 3. 2. Factores que afectan a la VCN periférica en investigación neurológica.	89
2. 2. 3. 3. Revisión de estudios sobre la relación entre el índice de la VCN y la inteligencia (CI).....	93
2. 2. 3. 4. Efectos de la diabetes mellitus y del hipotiroidismo en los procesos cognitivos y su relación con la VCN ...	105
3.- Bases neurales de la inteligencia general.	107
3. 1.- Localización neural de <i>g</i>	108
3. 2.- Correlatos de <i>g</i> : el índice de volumen cerebral y la velocidad de procesamiento.	110

ÍNDICE CAPÍTULO V

V.- MÉTODO.....	119
5. 1. Sujetos.....	119
5. 2. Procedimiento general.....	124
5. 2. 1. Determinación del parámetro tiempo de conducción neurovisual mediante la latencia de los potenciales evocados visuales.....	126
5. 2. 1. 1. El test del patrón reverso de los VEP.....	127
5. 2. 1. 2. Registro de los VEP.....	129
5. 2. 2. Determinación del parámetro distancia (longitud de la vía visual) por Resonancia Magnética (RM).....	131
5. 2. 2. 1. Métodos de exploración del cerebro por imáge- nes: La RM en la exploración de la vía visual.....	133
5. 2. 2. 2. Descripción del protocolo experimental.....	138
5. 2. 2. 2. 1. Descripción del protocolo para la obtención de las medidas en el plano sagital.....	142
5. 2. 2. 2. 2. Descripción del protocolo para la obtención de las medidas en el plano transversal reconstruido.....	145
5. 2. 3.- Determinación del Índice Velocidad de Conducción Nerviosa (VCN) neurovisual.....	151
5. 2. 4.- Evaluación psicométrica de la inteligencia (CI).....	153
5. 2. 4. 1. Determinación de los cocientes intelectuales (CI) mediante los tests del WAIS y AMP.....	154
5. 2. 4. 2. Procedimiento para la aplicación de los tests de CI.....	162
5. 3.- Análisis de Datos.....	164
5. 3. 1. Análisis estadísticos.....	166
5. 3. 1. 1. Análisis de datos por el Método de los Vecto- res correlacionados.....	166

ÍNDICE CAPÍTULO VI

VI.- RESULTADOS.	169
6. 1.- Resultados de los parámetros latencia y amplitud de los componentes N100 y P100 de los VEP.	169
6. 2.- Resultados del parámetro distancia por RM.	181
6. 3.- Resultados para el cálculo del índice VCN neurovisual.	188
6. 4.- Resultados de las medidas de inteligencia psicométrica (CI)	195
6. 4. 1. Resultados para el CI total WAIS y las AMP.	195
6. 4. 2. Resultados del CI para los subtests del WAIS.	198
6. 4. 3. Resultados del CI de los factores del WAIS y de los factores Gc,Gf y Gsar.	203
6. 4. 4. Resultados de los CI para las medidas psicométricas de inteligencia general.	205
6. 5.- Relaciones entre los parámetros de la VCN, el índice VCN neurovisual y la inteligencia psicométrica.	210
6. 5. 1. Interrelaciones entre los VEP y las medidas de longitud craneoencefálicas por RM.	211
6. 5. 2. Relaciones entre los VEP, los parámetros de longitud y la inteligencia psicométrica.	215
6. 5. 3. Interrelaciones entre el índice de la VCN y sus parámetros.	219
6. 5. 4. Relaciones entre el índice de la VCN y los CI globales del WAIS, verbal, manipulativo, total y las AMP.	222
6. 5. 5. Relaciones entre el índice de la VCN y los subtest del WAIS.	226
6. 5. 6. Relaciones entre el índice de la VCN y el factor g.	229
6. 5. 7. Relaciones entre los factores de inteligencia psicométrica del WAIS, los factores Gf-Gc-Gsar, el factor g, los parámetros de la VCN y el índice de la VCN.	231

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1.- Modelo psicométrico de la inteligencia mediante la agrupación taxonómica de los Tres Estratos de Carroll (1993).	26
Tabla 4. 1.- Estudios de las relaciones entre el índice VCN y la inteligencia psicométrica (CI).	98
Tabla 4. 2.- Una valoración efectuada por Deary (2000) de los índices cerebrales desde la aproximación biológica del PI.	118
Tabla 5.1(a).- Características generales de los sujetos.	119
Tabla 5.1(b).- Características generales de los sujetos.	123
Tabla 5. 2.- De variables sociosanitarias.	120
Tabla 5. 3.- Relación de patologías psiquiátricas y del SN.	121
Tabla 5. 4.- Programación de las sesiones de valoración psicológica y experimentales.	124
Tabla 5. 5.- Cargas factoriales estimadas del factor <i>g</i>	155
Tabla 5. 6.- Descripción de los subtests del WAIS en el marco de la Gf-Gc.	159
Tabla 6. 1.- Descriptivos para las latencias y amplitudes de los componentes N100 y P100 de los VEP. Para n=20.	170
Tabla 6. 2.- Descriptivos para las latencias de los componentes N100 y P100 de los VEP para el grupo de las mujeres y los hombres. Datos para la posición del electrodo Oz.	172
Tabla 6. 3.- Descriptivos para las amplitudes de los componentes N100 y P100 de los VEP para el grupo de las mujeres y los hombres.	174
Tabla 6.4(a).- Resultados del análisis de varianza de los datos del registro de las latencias y amplitudes N1 y P1 de los VEP en función de la variable sexo.	177
Tabla 6.4(b).- Resultados de los análisis de varianza de los datos del registro de las latencias y amplitudes N1 y P1 de los VEP en función de la variable longitud.	178
Tabla 6. 5.- De medidas individuales de la longitud de la vía visual por RM.	182
Tabla 6. 6.- Descriptivos para las tres medidas del parámetro distancia (Dia-Ext., Dia-Int. y No-ocp) por RM. Para n=20.	183
Tabla 6. 7.- Descriptivos para las tres medidas del parámetro distancia (Dia-Ext., Dia-Int. y No-ocp) por RM para las mujeres y para los hombres.	184
Tabla 6. 8.- Resultados de los ANOVA para las medidas del parámetro distancia...187	187
Tabla 6. 9.- Descriptivos para las tres medidas del índice VCN (en m/s) para el total de la muestra (n=20).	189
Tabla 6. 10.- Descriptivos para las tres medidas del índice VCN (en m/s) para el grupo de las mujeres y el grupo de los hombres.	191
Tabla 6. 11(a).- Resultados para el análisis de varianza del índice de la VCN.	191

Tabla 6. 11(b).	-Resultados de los ANOVA para valorar el efecto de la longitud la cabeza (No-ocp) sobre el índice VCN neurovisual.	194
Tabla 6. 12.-	De descriptivos para los CI Total, Verbal, Manipulativo y Prorrateado del WAIS y el CI por las AMP. Para n=20.	196
Tabla 6. 13.-	De intercorrelaciones entre las medidas de inteligencia psicométrica de los CI total, verbal, Manipulativo del WAIS y las AMP.....	197
Tabla 6. 14.-	De puntuaciones directas de los subtests del WAIS.....	199
Tabla 6. 15.-	Descriptivos de los CI para cada uno de los subtests del WAIS para el grupo total de la muestra.....	199
Tabla 6. 16.-	De interrelaciones entre los subtests del WAIS y las AMP.	202
Tabla 6. 17.-	De descriptivos del CI de los factores del WAIS (CV, MT, OP, VP).	204
Tabla 6. 18.-	De descriptivos de los factores Gf-Gc-Gsar.	205
Tabla 6. 19.-	De descriptivos de las medidas psicométricas de inteligencia general / fluida, para mujeres, hombres y totales.	207
Tabla 6. 20.-	Resultados del ANOVA para las medidas psicométricas de inteligencia general.	209
Tabla 6. 21.-	De correlaciones entre los parámetros (latencias y amplitudes) de los componentes VEP y el parámetro distancia o longitud de la cabeza. Para n=20.	213
Tabla 6. 22.-	De correlaciones entre los parámetros de los VEP y la longitud de la cabeza. Para las mujeres y hombres.	214
Tabla 6. 23.-	De relaciones entre las medidas de inteligencia psicométrica, los parámetros de los VEP y la distancia o longitud de la vía visual. Para n=20.	218
Tabla 6. 24.-	De correlaciones entre el índice de la VCN y sus parámetros para el total de la muestra (n=20) y por separado para las mujeres (n=10) y los hombres (n=10).....	221
Tabla 6. 25.-	De correlaciones entre el índice VCN y los CI's total, CIV, CIM CI Pro. del WAIS y CI AMP. Para n=20.	224
Tabla.6. 26.-	De intercorrelaciones entre los tres valores VCN, y de la VCN con los CI del WAIS y de las AMP.....	225
Tabla 6. 27.-	De correlaciones entre la inteligencia psicométrica y el índice VCN. Para n=20.....	228
Tabla 6. 28.-	Coeficientes de correlaciones parciales mediante el método de los vectores correlacionados entre los subtests del WAIS, el vector g del WAIS y el índice VCN. Para n=20.....	230
Tabla 6. 29.-	Resultados obtenidos mediante el método de los vectores correlacionados de las relaciones entre las VCN y el vector g del WAIS.	231
Tabla 6. 30.-	De correlaciones entre los subtests verbales y no verbales del WAIS agrupados por 4 factores (V, MT, OP y VP), los factores Gf- Gc-Gsar, el factor g, los parámetros de la VCN y el índice VCN.	234
Tabla 6. 31.	Tabla general de correlaciones entre los parámetros de la VCN, el índice VCN y todas las medidas de inteligencia psicométrica.	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 3. 1.- Esquema de la estructura psicométrica de la inteligencia humana en tres niveles. Tomado de Deary y Caryl (1997).....	25
Fig. 3. 2.- El factor <i>g</i> y los estratos en el modelo de Carroll y en el modelo en el modelo Gf-Gc de Cattell-Horn (Adaptado de Flanagan <i>et al.</i> 2000).....	29
Fig. 3. 3.- Esquema del modelo de Eysenck. Adaptado de Vigil (1997).....	30
Fig. 3. 4.- Las relaciones entre el subtest de figuras Incompletas del WAIS, los tres estratos (reducido, amplio y general) y el modelo de la Gf-Gc de Cattell. Adaptado de Flanagan <i>et al.</i> (2000).....	36
Fig. 4. 1.- Esquema de la aproximación reduccionista al estudio de la inteligencia. Adaptado de Deary (1997).....	40
Fig. 4. 2.- Niveles de estudio y explicación de la inteligencia en el modelo del procesamiento de la información.	48
Fig. 4. 3.- Esquema de la tarea del TI.....	52
Fig. 4. 4.- Colocación de los electrodos según el sistema 10-20.....	61
Fig. 4. 5.- Parámetros de los componente ERP N100 y P100.Tomado de Andrés (1997).....	63
Fig. 4. 6.- La distribución teórica de los campos eléctricos y magnéticos producida por una corriente de dipolos. Tomado de Kaufman <i>et al.</i> (1981) (en Swick, Kutas <i>et al.</i> , 1995).....	66
Fig. 4. 7.- Anatomía y electrogénesis del córtex visual. En Coles, Donchin <i>et al.</i> (1986).....	67
Fig. 4. 8. - Esquema de la localización neuromagnética de los VEP.....	68
Fig. 4. 9.- Localización neural de la P100 en el CVP mediante dipolos Tomado de Mangun <i>et al.</i> (1998).....	68
Fig. 4. 10.- Registro de la actividad eléctrica del CVP. Fotografía de Nikos Logothetis (1999).	68
Fig. 4. 11.- Esquema del proceso perceptivo sensorial de la información.....	72
Fig. 4. 12.- Evidencias para la modelación prefrontal del procesamiento visual. Tomado de Barceló, Suwazono y Knigth (2000).....	74
Fig. 4. 13.- Puntos de estimulación y registro para la medida de la VCN en un nervio periférico. Tomado de Ludin <i>et al.</i> (1995).....	89
Figs. 5. 1. (a). Estímulos visuales del test de patrón reverso de los VEP, y (b). Representación de la función en forma de U invertida de la sensibilidad de contraste.....	128
Figs. 5. 2. (A). - La RM Axial de las órbitas a la altura del plano de los nervios ópticos. (B) El esquema muestra los distintos puntos seleccionados para realizar varias mediciones de la vía visual. (Adaptado de Mafee <i>et al.</i> (1986).....	137
Fig. 5. 3.- Protocolo experimental compuesto por 19 cortes sagitales que ocupa el paralelepípedo que abarca la vía visual completa.....	140

Fig. 5. 4.- Protocolo experimental compuesto por 25 cortes transversales que ocupaba la vía visual completa.....	141
Fig. 5. 5.- Secuencia de los 19 cortes tomográficos del 1 al 19 (planos superiores A y B) a partir de los cuales se obtiene el plano sagital medial (plano inferior C) en un sujeto experimental.....	143
Figs. 5.6.- A. Mediciones en el plano sagital-medial. B. Dibujo simplificado de las proyecciones desde la retina a las áreas visuales del NGL al CVP. Adaptado de Kandel <i>et al.</i> (1997).	144
Fig. 5. 7.- Secuencia de los cortes tomográficos del 1 al 25 en las fotos A y B, a partir de las cuales se obtiene el plano transversal reconstruido en 3-D (foto C).....	147
Figs. 5. 8.- A. Mediciones en la vía visual sobre el plano axial reconstruido en 3-D. B. Dibujo axial simplificado de la trayectoria de las radiaciones ópticas.	148
Fig. 6. 1.- Valores para las latencias medias de los componentes N100 y P100 de los VEP para el grupo de mujeres, hombres y totales.	173
Fig. 6. 2.- Valores medios para las amplitudes los componentes N1 Y P1 de los VEP para el grupo de la mujeres, hombres y totales.....	175
Fig. 6. 3.- Gráfica representativa para ilustrar la variabilidad de las respuestas de los VEP de dos sujetos experimentales.....	179
Fig. 6. 4.- Gráficas del <i>gran average</i> (AVG) para el grupo de mujeres y el grupo de los hombres.....	180
Fig. 6. 5.- Valores medios del parámetro distancia de la longitud de la vía visual por RM.....	185
Fig. 6. 6.- Valores medios relativos al índice VCN en la vía visual, para mujeres, hombres y totales.....	192
Fig. 6. 7.- Valores medios de los CI de las medidas psicométricas de inteligencia general, para las mujeres, hombres y totales.	208

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En el estudio de las bases biológicas de la inteligencia psicométrica, una de las hipótesis de mayor estatus postula que la inteligencia general (g) está asociada a la transmisión neural rápida o eficiencia de los procesos neurales de la información (Erl y Schafer, 1969; Eysenck, 1982, 1985).

Ésta hipótesis surgió de los postulados de Galton y Spearman sobre la naturaleza biológica de la inteligencia. Sin embargo, las posteriores concepciones de la teoría de Spearman (1904, 1923, 1927) han generado debates y problemas teóricos. Así, en el capítulo 2, sin olvidar la evolución histórica del concepto de *inteligencia*, expondremos las principales conceptualizaciones del constructo de inteligencia general en el marco de la psicología cognitiva y el paradigma del procesamiento de la información humano.

En la actualidad, según Taylor (1994), los tres paradigmas generales más importantes para la medida y explicación de la inteligencia son: el psicométrico, como una de las aproximaciones más antiguas y de las mejor establecidas para la comprensión de la estructura de la inteligencia, el procesamiento de la información- en el que se enmarca nuestra investigación y por último -aunque no es el enfoque de nuestro trabajo- el paradigma de la modificabilidad cognitiva basado en las teorías de Vigotsky (1978), que parten del punto de vista de que el desarrollo cognitivo es un fenómeno social y focalizan en la capacidad de adaptación del sujeto a la demanda. Subyace a esta concepción del desarrollo cognitivo la creencia de que la inteligencia es dinámica, modificable y cambiante (Flanagan, McGrew y Ortiz, 2000).

El capítulo 3 lo dedicamos a enmarcar la actualidad de la investigación en inteligencia desde la aproximación psicométrica que comprende varios intentos por llegar a una completa taxonomía para identificar las dimensiones que conforman el fenotipo de la estructura de la inteligencia humana. En la actualidad, la mayor parte de la comunidad científica presenta un amplio acuerdo en concebir las capacidades mentales como una estructura jerárquica (Gustafsson, 1984; Carroll, 1993), aunque existe desacuerdo en cuanto a la inclusión de un único factor g en la cima del modelo jerárquico. Así, expondremos brevemente la interpretación de la estructura contemporánea de la inteligencia basada en el modelo de Cattell-Horn que postula dos dimensiones: la inteligencia fluida (Gf) y la inteligencia cristalizada (Gc), y en el modelo de Carroll, que mantiene una única dimensión de inteligencia o el factor g que ha resultado ser análogo factorialmente a la inteligencia fluida (Gustafsson, 1984, 1996).

Como indicamos en el capítulo 3 los análisis psicométricos, si bien son útiles para

identificar las dimensionalidades que forman la estructura de la inteligencia, se muestran indeterminados e insuficientes para estudiar la naturaleza de la misma. Así, el debate teórico sobre la naturaleza y existencia de *g* ha resultado ser uno de los más afluidos de la psicología diferencial cognitiva (Gustafsson *et al.*, 1996; Jensen, 1998). En éste contexto se produce la investigación de las diferencias individuales en los procesos subyacentes a los factores de inteligencia psicométrica, que es descrita en términos de las diferencias en los distintos niveles de los procesos cerebrales, aunque el problema está en el descubrimiento de los niveles relevantes de estudio de la función cerebral (Deary, 2000a).

Así, el capítulo 4 lo dedicamos a enmarcar conceptualmente el estudio de las diferencias individuales en inteligencia dentro la psicología cognitiva y el modelo del procesamiento información (PI), donde se postulan explicaciones teóricas diferentes para la naturaleza de la inteligencia general y se proponen diferentes niveles de procesamiento de la información para abordar su estudio dentro de un *continuum* que va del nivel más alto o de procesamiento superior en el estudio de los procesos complejos o los ejecutivos centrales, pasando por un nivel intermedio en el estudio de los procesos cognitivos de la memoria etc., hasta el nivel más simple de procesamiento, en el que se estudia la implicación de los procesos neurales del sistema nervioso en la inteligencia.

Teniendo en cuenta que, para las teorías cognitivas del procesamiento de la información complejo, la inteligencia general se considera el resultado de múltiples procesos y de diversos componentes cognitivos, mientras que desde la perspectiva del procesamiento de la información simple se considera que la velocidad-eficiencia del procesamiento de la información es el proceso unitario elemental y el componente (neurofisiológico) principal que explicaría las diferencias individuales en inteligencia general (Eysenck, 1982; Jensen, 1985, 1998). Éste último enfoque parte de la tradición diferencialista de Galton y focaliza en el estudio de las diferencias individuales en la actividad cerebral mediante indicadores del constructo de la velocidad-eficiencia neural que se constituyen como correlatos biológicos de las diferencias individuales en inteligencia psicométrica.

Dentro de la aproximación del reduccionismo cognitivo-biológica (Deary, 1997, 2000) se utilizan diferentes métodos y procedimientos a través de los cuales se pretende realizar la medida del constructo de la velocidad-eficiencia del procesamiento de la información. Así, durante los pasados 35 años ha proliferado una sustancial literatura que acumula datos procedentes de las investigaciones que han utilizado procedimientos inferenciales como los indicadores cronométricos de los tiempos de reacción (TR) para la medida de la eficiencia de los procesos cognitivos elementales, ampliando hasta el uso de las técnicas por imágenes cerebrales, los

estudios de psicofarmacología y los procedimientos de los potenciales evocados cerebrales (*event related potentials*, ERP) etc. para la medida de la eficiencia de los procesos biológicos. Por lo que analizaremos la importancia de los ERP sensoriales, específicamente los potenciales evocados visuales (VEP) como indicadores temporales de la velocidad de transmisión neural. Y, en concordancia con éste marco teórico, expondremos el papel de la velocidad-eficiencia del procesamiento de la información para la medida de la capacidad cognitiva general, así como las teorías biológicas subyacentes a los estudios de la aproximación reduccionista.

Desde ésta aproximación, realizaremos una revisión (sin ánimos de ser exhaustivos) y una valoración crítica de los principales índices cerebrales utilizados para la medida del constructo de la velocidad-eficiencia neural. El problema, que se desprende de la literatura, es en relación a los indicadores utilizados, en el sentido de si son válidos para la medida de nuestro constructo objeto de estudio, ya que algunos autores han evidenciado que los resultados de los estudios para explorar la hipótesis de la eficiencia neural y su asociación con la inteligencia psicométrica (CI) no están claros. Los críticas provienen principalmente de los datos de las medidas o indicadores para valorar el tiempo de la conducción neural: los tiempos de reacción y los potenciales evocados cerebrales (Widaman, Carlson *et al.*, 1993; Kline, Draycott y McAndrew, 1994; Draycot y Kline, 1994, citados por Vigil, Perez-Olle *et al.*, 1997).

Desde la aproximación cognitiva, uno de los principales indicadores de velocidad de procesamiento ideados para valorar la velocidad de ejecución de las tareas computacionales básicas del PI es el tiempo de reacción (TR) humano. La exploración cronométrica con éste indicador está basada en la visión de que el TR es un reflejo de la velocidad de conducción nerviosa con la que el cerebro procesa la información (Jensen, 1987; Reed y Jensen, 1993a). Aunque los datos de soporte para la hipótesis del tiempo rápido de la transmisión neural procedentes de éstos indicadores, son indirectos. Las correlaciones observadas entre los TR y las puntuaciones de inteligencia psicométrica (CI), aunque son consistentes, no son concluyentes. Ya que de hecho, el patrón de las correlaciones no es tan simple como la hipótesis predice (Neisser *et al.*, 1996). El significado de ésta asociación todavía no se ha podido clarificar, ya que no se ha podido determinar si los TR miden esencialmente un simple o único parámetro de velocidad de conducción nerviosa, sinó que el problema está en que la correlación puede estar en covariación con otras variables o factores de alto nivel (*i.e.*, estrategias, motivación, arousal, aprendizaje o práctica etc.).

Así, desde la aproximación biológica, con el propósito de aportar medidas fisiológicas más directas y simples para presentar evidencia de que el cociente intelectual (CI) puede ser medido o explicado, al menos en parte, por los procesos neurales, fueron utilizados los procedimientos de los potenciales evocados (ERP). El

examen de los primeros trabajos de la literatura, en los que se utilizaba el procedimiento de elicitar la latencia de los ERP, derivada de la simple estimulación sensorial repetitiva de flashes de luz, concluye que no queda claro el soporte para la hipótesis de la eficiencia neural desde los datos hallados con éste procedimiento (Deary y Caryl, 1993; Stelmack y Houlihan, 1995). Las críticas también provienen de las medidas de longitud de cinta (*string length*), derivadas de la complejidad de la onda de los ERP, ya que se observó que estaban más relacionadas con la inteligencia cristalizada (aprendizajes) que con la inteligencia fluida (razonamiento abstracto) (Widaman, Carlson *et al.*, 1993), por lo que están consideradas como indicadores poco fiables para la medida del constructo de la eficiencia neural (Deary, 2000a).

Los investigadores han intentado mejorar los procedimientos que miden la velocidad de conducción nerviosa, de manera más directa que con los TR, mediante el desarrollo de un índice que lleva el mismo nombre. El índice de la velocidad de conducción nerviosa (VCN) fue propuesto por Reed y Jensen (1992) para explicar las bases fisiológicas de las relaciones entre los TR y la inteligencia psicométrica (CI).

En la revisión de los estudios de la literatura de la VCN, la mayor parte de la investigación se ha realizado en la medida de un nervio periférico. De manera que, para una mayor comprensión describiremos las técnicas estandarizadas para el cálculo de la VCN en el marco de la clínica neurológica, ya que todo el volumen de información generado en este contexto debe de tenerse en cuenta a la hora de realizar las posteriores valoraciones de los estudios en cuestión.

Los estudios revisados muestran que ambos indicadores (los TR y la VCN) correlacionan positivamente por separado con la inteligencia psicométrica (CI) mientras que no se ha hallado correlación entre las medidas conductuales de velocidad del procesamiento (TR) y el índice de la velocidad de conducción neural (VCN) (Reed y Jensen, 1993a; Vickett, Vernon *et al.*, 1999). Anderson (1994) sugiere que la velocidad de conducción neural no es la base de la correlación entre los TR y las puntuaciones de CI.

Tampoco se ha hallado soporte empírico para evidenciar que la VCN periférica estuviera correlacionada con la VCN subcortical (Reed y Jensen, 1993a). Sin embargo, a pesar de los resultados, hemos resumido varios estudios que evidenciarían que neuropatías caracterizadas por decrecimientos en la VCN (*i.e.* diabetes mellitus, hipotiroidismo) representan efectos negativos sobre ambas velocidades de conducción (periférica y central).

Los estudios llevados a cabo para la valoración de la relación entre la velocidad de la transmisión periférica (VCN) y las puntuaciones de CI presentan un patrón de resultados, a todas luces, inconsistente y contradictorio, en el que se constata que la correlación no está bien establecida (Vernon *et al.*, 2000; Stelmack *et al.*, 2003).

En la actualidad existen muy pocos estudios que hayan valorado la eficiencia de la transmisión neural en el cerebro, mediante una medida indirecta por el índice de VCN subcortical. Éste índice viene indicado por la longitud de la cabeza y las latencias de los ERP sensoriales, éstos últimos indican el tiempo que consume la información en su curso desde los receptores sensoriales del organismo hasta el córtex sensorial correspondiente.

El estudio de Reed y Jensen (1991, 1992) halló asociación positiva entre la inteligencia psicométrica no verbal (CI) y la VCN neurovisual (desde los potenciales evocados visuales, VEP). Este resultado no ha sido replicado por el reciente estudio de Stelmack *et al.* (2003), en el que calculó una medida del índice VCN subcortical en la vía auditiva (desde los potenciales evocados auditivos, BAEP) y halló correlaciones negativas entre la VCN subcortical y la inteligencia cristalizada, que indicaría que bajas velocidades de conducción están asociadas con altos CI verbal. El autor concluye que los resultados de su estudio contradicen la hipótesis de la transmisión neural rápida para la inteligencia general (g), ya que no halló relación entre las latencias BAEP (tiempo de transmisión) y la inteligencia (CI).

Así pues, los resultados de los escasos estudios para valorar la asociación entre la inteligencia psicométrica y la eficiencia neural, mediante el indicador VCN subcortical, son contradictorios. Acerca del indicador VCN, el informe emitido por el equipo de expertos de la *American Psychological Association* coordinados por Neisser (1996) concluye textualmente: ... *Así, mientras que todavía no comprendemos la base de la correlación entre VCN e inteligencia psicométrica, sí parece que no es sólo una cuestión de velocidad.*

En nuestro estudio, con la intención de aclarar la asociación entre las puntuaciones de CI y el índice de la VCN, pretendemos explorar las relaciones por separado entre los parámetros en los que se basa el cálculo del indicador VCN (los ERP y las medidas de la distancia o longitud de la cabeza) y la inteligencia psicométrica (CI): Por una parte, tenemos que el parámetro distancia o longitud de la cabeza es una medida indirecta de tamaño cerebral. En la literatura, constatamos que se produce de manera sistemática un patrón de correlación positiva, uniforme y consistente, entre la inteligencia psicométrica (CI) y el índice de volumen cerebral (Wickett, Vernon *et al.*, 2000), aunque el significado de esta correlación se desconoce (Vernon *et al.*, 2000), y se considera que el índice de volumen cerebral es una medida pobre e imprecisa para la inteligencia (CI) (Deary, 2000a). Y por la otra parte, tenemos la medida del parámetro del tiempo de la conducción neural derivada de los potenciales evocados visuales (VEP). Por lo que fundamentaremos la lógica del estudio en el procesamiento de la información sensorial y en la utilización de la técnica estandarizada de los VEP en el paradigma de procesamiento básico de la

información.

Las implicaciones para explorar la posibilidad de que los sujetos difieren en los umbrales sensoriales no es nueva, ya Galton estuvo interesado en las medidas de la agudeza o discriminación sensorial para el estudio de las diferencias individuales relacionadas con la inteligencia (CI). La reaparición de investigaciones del procesamiento sensorial y perceptivo en sujetos con retraso mental, ha hecho que se avanzara paralelamente en la comprensión del funcionamiento normal de los sistemas sensoriales y en el desarrollo de tecnologías que hacen posible controlar la presentación de los estímulos y la imagen de la actividad neural (Oross y Woods , 2003).

En la actualidad la utilización de procedimientos estandarizados conjuntamente con los análisis de los ERP visuales o VEP, han permitido un tratamiento de datos más preciso que el obtenido mediante los procedimientos de los que parten los estudios iniciales con ERP sensoriales. En los estudios actuales, parece ser que, utilizando el análisis de los ERP producido mediante el promediado del patrón reverso, hallan una pequeña relación negativa entre las latencias cortas de los VEP y el CI (Reed y Jensen; 1992, Tan *et al.* 1993). No obstante, en general, la literatura de los estudios de la inteligencia con los ERP se caracteriza por presentar una gran variabilidad: *los efectos significativos de la correlación entre los parámetros de los ERP y las puntuaciones de CI están pobremente establecidos* (Deary, 2000a).

Dentro de la aproximación biológica (neural), *el intento de asociar aspectos de la función cerebral con las diferencias en la inteligencia general ha producido una modesta base de resultados confirmados, pero el significado de esas asociaciones no es materia sencilla* (Deary, 2000a, p. 62), como podrá comprobar el lector de esta tesis.

En el capítulo 5 exponemos el método para la realización del estudio empírico, cuyo procedimiento general está articulado en cuatro apartados: los dos primeros están dedicados a describir el procedimiento utilizado para la determinación de los parámetros tiempo y distancia en el cálculo del índice VCN (en la vía visual); el tercero está dedicado propiamente al cálculo de dicho índice. Y finalmente, el cuarto está dedicado a describir el procedimiento para la medida de la inteligencia psicométrica mediante el test del Wechsler, uno de los instrumentos más utilizados para la medida del cociente intelectual (CI) en investigación biopsicométrica. Sin embargo las recientes investigaciones concluyen que la puntuación de CI de la escala total del Wechsler no es una medida válida del constructo de la inteligencia general (*g*) (*i.e.*, Robinson, 1999; Colom, Abad *et al.*, 2002). Derivado de ello, nos propusimos extraer al factor *g* de la batería del WAIS para explorar, mediante el método de los vectores correlacionados (Jensen, 1998), su posible asociación con el

indicador que estudiaremos.

En nuestro estudio también incluimos el test AMP de Raven, que será utilizado para controlar la homogeneidad de la muestra en cuanto a la medida psicométrica de la inteligencia general. La doble medida también se justifica por la observación de resultados contradictorios en la literatura de la VCN, según el tipo de test psicométrico empleado.

En el apartado del procedimiento, para la determinación del parámetro tiempo de transmisión neural, presentamos la descripción de un registro de potenciales evocados visuales, del cual nos interesan los componentes sensoriales exógenos N100 y P100 por su relación con los objetivos de obtener una medida de la variación individual en la respuesta cerebral por el parámetro tiempo de transmisión neural mediante las latencias correspondientes a dichos componentes. En el contexto de la clínica neurológica, la latencia del P100 es utilizada de manera rutinaria para la estimación del tiempo de conducción nerviosa o como un índice de conducción neural (Celesia y Kauffman, 1987, citados por Parisi, *et al.* (1998) y en la valoración de la integridad del procesamiento básico de la información visual (Viggiano, 1999; Mecacci *et al.*, 1999).

Para obtener el parámetro distancia o longitud de la vía visual, describimos un protocolo experimental diseñado específicamente mediante resonancia magnética. Esta técnica nos permitirá obtener una medida *directa* estimativa de la longitud de la vía visual, por la visualización del recorrido de nervio óptico y su trayectoria hasta el córtex visual primario en una imagen reconstruida en 3-D, y por la medida del diámetro anteroposterior de la cabeza. Así, con la introducción de la metodología de la RM pretendemos ganar precisión en la medida, ya que el estudio original de Reed y Jensen (1992) se realizó con medidas antropométricas derivadas de métodos considerados de menor precisión. De manera que, no sabemos de que modo incidirá una mayor precisión en la medida del parámetro distancia en el grado de la magnitud de la posible correlación entre la VCN-CI.

Así pues, a partir de la determinación de los parámetros de los potenciales evocados visuales y de la mejora metodológica para la medida del parámetro distancia por RM, pretendemos aplicar la medida desarrollada por Reed y Jensen (1992) para la obtención del índice velocidad de conducción nerviosa subcortical que detallamos en el apartado de método.

En nuestro estudio, al estar formado por una muestra mixta, pretendemos informar sobre diferencias de sexo en el índice VCN subcortical, en caso de producirse, ya que no tenemos datos sobre diferencias en el indicador por los estudios anteriores. Y, también, en relación a los estudios que le preceden, pretendemos estudiar la involucración de este indicador en varias medidas de

inteligencia psicométrica. Por lo que hemos elegido el test de WAIS, puesto que constituye una de las baterías más significativas para la evaluación de todas las capacidades cognitivas.

Finalizaremos con los capítulos correspondientes a la discusión y conclusiones de los resultados, que serán discutidos desde los conocimientos teóricos de que disponemos y siempre desde una línea descriptiva. La perspectiva correlacional- en la que se sitúa nuestro estudio- si bien resulta útil para conseguir evidencias empíricas cuantificables, no es adecuada en cuanto a ofrecer explicaciones causales; constituyendo el objetivo sencillo de esta tesis, describir resultados.

Para terminar hemos de indicar que nuestra muestra de estudio presenta un número reducido de sujetos, por lo que consideramos que el valor que pudiera tener nuestro trabajo para futuras investigaciones puede ser orientativo más que predictivo. También debido, básicamente, a los problemas de significación estadística que se derivan de trabajar con una muestra de estudio pequeña, la cual está formada por estudiantes universitarios, lo que implica efectos de restricción de rango y, que conlleva, además, un inevitable sesgo que limita la extrapolación de los resultados a la población general. No obstante, la mayor parte de la investigación científica se realiza con este tipo de muestras y esto hace que como mínimo la discusión de los datos se haga dentro de los parámetros comunes en investigación.

OBJETIVOS

La razón de ser de esta Tesis que tiene su origen en 1995, cuando realizando los cursos de doctorado tuve la oportunidad de colaborar en un estudio, *La valoración de los movimientos rápidos y coordinados su interrelación y capacidad de predicción de talentos deportivos*, dirigido por el Prof. Dr. Jordi Porta del Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC). En dicho estudio, utilizamos las medidas de los tiempos de reacción como medidas indirectas de la velocidad de conducción nerviosa, la cual constituye un factor fundamental en la predicción del rendimiento deportivo. Fue el Prof. Dr. Adolf Tobeña el que me animó a profundizar en el estudio de éstos indicadores a nivel del rendimiento cognitivo. Cuya investigación fue dirigida por el Prof. Dr. Josep Maria Costa.

Después de revisar la literatura, las cuestiones fundamentales que nos planteamos son las siguientes: ¿El índice de la VCN neurovisual es una medida fiable para explorar las relaciones entre la inteligencia psicométrica y la hipótesis de la velocidad-eficiencia de la transmisión neural del sistema nervioso?. ¿Cuál es la naturaleza del índice de la VCN neurovisual?. ¿Es esencialmente el parámetro del tiempo de transmisión neural el que mediaría la correlación con la inteligencia

psicométrica?. ¿Cuál es el grado de relación entre los parámetros del índice de la VCN (los ERP y las medidas de longitud craneoencefálica), el índice VCN, y por separado en relación a las medidas de inteligencia psicométrica?.

Así, los objetivos de estudio de la presente tesis doctoral son: investigar la asociación entre la inteligencia psicométrica y la velocidad de transmisión de los procesos neurales de la información, mediante los potenciales evocados visuales y el índice de la VCN neurovisual derivado de ellos. Y valorar si el índice VCN subcortical es una media válida para explorar las asociaciones entre la inteligencia psicométrica y la hipótesis de la velocidad-eficiencia neural desde la aproximación biológica (neural) del procesamiento de la información.

Desde el marco teórico de estudio de la diferencias individuales, a partir del de los objetivos fundamentales que configuran la hipótesis de trabajo, focalizaremos en los siguientes objetivos específicos que serán:

- 1./ Calcular un índice o cociente de VCN neurovisual desde la determinación de los parámetros: tiempo de transmisión neural por los potenciales evocados visuales (para la medida de la variabilidad individual en la respuesta cerebral) y distancia o longitud de la vía visual por RM.**
- 2./ Examinar, mediante un estudio de covariación, el grado de relación entre el índice de la VCN y sus parámetros.**
- 3./ Examinar, mediante un estudio de covariación, el grado de relación por separado entre los parámetros del índice VCN, la VCN y la inteligencia psicométrica.**
- 4./ Informar sobre posibles diferencias de sexo en el índice de la VCN neurovisual.**
- 5./ Explorar la hipótesis del tiempo de la transmisión neural, mediante la asociación entre las puntuaciones de la inteligencia psicométrica (CI) y los parámetros (latencias y amplitudes) de los potenciales evocados visuales y el índice de la VCN (subcortical).**
- 6./ Realizar una revisión, análisis crítico y valoración de los principales índices cerebrales desde la aproximación biológica (neural) del procesamiento de la información para el estudio de la inteligencia.**

II. LA INTELIGENCIA GENERAL.

Este capítulo está dedicado al controvertido concepto de la inteligencia general (*g*), puesto que no todos los investigadores están conformes con la idea de que un único factor o dimensión de inteligencia pueda estar presente e influenciar en todos los aspectos de la cognición. Así, dentro del marasmo y la complejidad conceptual implicada en la *inteligencia*, nos circunscribiremos a exponer las principales conceptualizaciones de *g* por los argumentos efectuados a favor de su existencia, tanto desde la aproximación psicométrica como desde la aproximación cognitivo-biológica del procesamiento de la información, sin olvidarnos de la evolución del concepto de la inteligencia humana.

1. La evolución del concepto de *inteligencia* humana.

El concepto de *inteligencia* pertenece al dominio de la mente, por lo que resulta imposible de definir con precisión, fijación y forma final (Robinson, 1999). Sugerir que pueda haber una definición de inteligencia como tal sería caer en una profunda incompreensión sobre ella.

Cuando se comparan las ideas que tienen los legos sobre la palabra *inteligencia* con el discurso científico, hay un punto amplio de acuerdo común en que ésta se refiere a un atributo de la mente, aunque el término *inteligencia*, por si mismo no significa que tenga un referente claro de existencia real en el ser humano. En un análisis filosófico, Altman (1997) señala que la definición de la palabra *inteligencia* se ha situado a lo largo del tiempo en el importante debate del problema filosófico del dualismo mente-cuerpo. En la base de la discusión, el concepto de inteligencia es considerado como un concepto fundamentalmente mental, y las palabras utilizadas en la adscripción de la cualidad mental tienen una referencia física o psicológica.

Una breve revisión histórica sobre la evolución del concepto de inteligencia da cuenta de la diversidad de conceptualizaciones sobre la misma ligadas al problema de la partición dualística que ha influenciado el desarrollo de la psicología. El origen del término *inteligencia* proviene de la introducción del vocablo latín *intelligentia* por Ciceron para traducir el concepto aristotélico de *dianoia* (funciones cognitivas) y *orexis* (funciones emocionales y morales) que conjuntamente formaban dos de los atributos significativos de la mente o facultad del alma de Aristóteles. Éste fue, probablemente, el primer autor- según Detterman (1982)- que propuso la existencia de un factor intelectual general: *Nous*, y se encuentra sólo en los humanos además del alma vegetativa, que corresponde al intelecto o a la razón, como una simple causa u origen en la explicación de las diferencias individuales en inteligencia.

En el siglo XVI, la perspectiva naturalista y diferencialista es observada en el libro: *Examen de Ingenios para las Ciencias*, de Juan Huarte de San Juan (1575),

considerado como la primera revisión comprehensiva de las bases cerebrales de las diferencias individuales en las capacidades humanas (Deary, 2000), ya que en él se reconoce una relación inherente entre la capacidad intelectual y su sustrato biológico.

A partir del siglo XVIII y XIX, desde la perspectiva del asociacionismo evolucionista de Darwin, el filósofo empirista Spencer (1855) considera la inteligencia como una característica biológica unitaria implicada en la adaptación diferencial del organismo a lo largo de la vida. Sus teorías, que fueron confirmadas por la fisiología de Sherrington, sostenían que la evolución intelectual (compleja) parte y se fundamenta en los mecanismos nerviosos simples en *una jerarquía de las funciones neurales*. Según Jensen (1998), ésta visión de la inteligencia representaba una ruptura con la doctrina dualista.

Así pues, desde éstos antecedentes, derivados de la filosofía y la biología, parten las primeras aproximaciones teóricas y explicativas del concepto de inteligencia. Aunque no es hasta finales del siglo XIX cuando el término *inteligencia* adquirió estatus científico, y -según Andrés (1998)- después de ser entendida como una capacidad mental susceptible de ser estudiada empíricamente. Los primeros estudios experimentales de la inteligencia se realizaron mediante las sensaciones, que han sido históricamente el punto de partida del estudio científico de los procesos cerebrales (Kandel *et al.*, 1997). La idea de medir la duración temporal de éstos derivó de los postulados de Galton (1883) sobre la naturaleza biológica de la inteligencia, en los que podemos ver claramente una postura no dualista, ya que no realizó la esencial distinción entre cualidades mentales y físicas, al establecer que la capacidad mental es susceptible de poder explicarse y medirse con tests sensoriales (Jensen, 1999).

Para finalizar con la evolución del concepto, la idea de la capacidad mental de Galton fue formalizada a principios del siglo XX por Charles. E. Spearman (1904) en el concepto de la inteligencia general (*g*), en el que se basan las investigaciones contemporáneas en el marco teórico de la psicología diferencial cognitiva y en el paradigma del procesamiento de la información humano. En 1967, Neisser publica el libro *Cognitive Psychology* donde resume un cuerpo emergente de investigaciones sobre procesos cognitivos. Así mismo fueron fundadas dos revistas *Intelligence* por Detterman en 1977 y *Personality and Individual Differences* por Eysenck en 1980, donde se publicaban estudios relacionando las diferencias individuales en inteligencia y personalidad con tareas cognitivas (Brody, 2000).

En la actualidad, desde la perspectiva de las neurociencias y el desarrollo tecnológico asociado, puede observarse una proliferación de trabajos orientados a descubrir las bases materiales (biológicas) de la conducta mental (*i.e.*, inteligencia), por lo que se desprende que ésta perspectiva traería consigo una nueva teoría mente-cuerpo.

En Psicología, la definición del término *inteligencia* se ha caracterizado por una notable falta de consenso entre los expertos, debido a que constituye un fenómeno complejo que no se presta con facilidad a una definición conceptual. Además de los problemas de definición, la historia de la ciencia sobre la inteligencia se caracterizaría por importantes polémicas que incluso exceden el discurso científico al tener hasta implicaciones socio-políticas. Como el impacto social provocado por la publicación de *The Bell Curve* (Herrnstein y Murray, 1994), sobre el significado de las puntuaciones de los test de inteligencia y sobre la naturaleza de la misma, que llevo a la *American Psychological Association* (APA) a convocar una *task force* para que se pronunciara sobre el tema de la inteligencia. Así, por encargo de la APA, se formó un equipo de expertos dirigidos por Ulric Neisser (1996) que presentaron un informe autorizado ¹*Intelligence: Knowns and Unknowns** que se considera el resumen de los conocimientos sobre la ciencia de la inteligencia.

** Los individuos difieren en su aptitud para comprender ideas complejas, para adaptarse con eficacia al ambiente, para aprender de la experiencia, para razonar, para superar obstáculos. Aunque estas diferencias individuales pueden ser sustanciales, nunca son totalmente consistentes: el rendimiento intelectual de una determinada persona puede variar en diferentes ocasiones, en distintos dominios, y según qué criterios se valoren. Los conceptos de inteligencia son intentos de clarificar y organizar esta compleja serie de fenómenos. Aunque se ha logrado una considerable claridad en algunas áreas, ninguna de las conceptualizaciones ha respondido todas las preguntas importantes y ninguna de ellas recibe un apoyo universal. Cuando se preguntó recientemente a dos docenas de teóricos importantes por una definición de inteligencia, se propusieron dos docenas de definiciones distintas (Sternberg y Detterman, 1986). Estos desacuerdos no son motivo de desaliento. La investigación científica no puede empezar con definiciones totalmente aceptadas, aunque puede llegar a ellas (Neisser et al., 1996, citado por Gray y Thompson, 2004).*

En el informe se enumeran las concepciones científicas de la inteligencia y las aproximaciones de estudio más relevantes. Entre las conclusiones se sigue considerando que la aproximación psicométrica ha sido la más influyente y la que ha generado la investigación más sistemática. Hay un acuerdo general en que las diferencias individuales pueden ser medidas con gran fiabilidad, destacando la estabilidad de las puntuaciones de CI y la validez predictiva de los tests psicométricos de la inteligencia (CI), que se relaciona con resultados sociales, económicos, laborales, educativos y clínicos. También destacan las contribuciones a la comprensión de la inteligencia desde la aproximación biológica.

2. Introducción histórica al constructo *g*: La teoría de Spearman.

En este apartado de introducción histórica al constructo de la inteligencia general (*g*) desarrollaremos propiamente las ideas de Galton, Spearman y Binet, considerados los progenitores del estudio contemporáneo de la inteligencia (Brody, 2000).

Francis Galton (1822-1911), basándose en las teorías darwinianas cuyas premisas señalan que los miembros de una misma especie *varían* en algunas características y que muchas de éstas son *hereditarias*, aplicó estos principios a la inteligencia humana. En *Hereditary genius* (1869) establece las bases biológicas de las diferencias individuales² en la capacidad mental y posteriormente en 1883 formuló la hipótesis de la discriminación sensorial para proveer un mecanismo que relacionara la inteligencia con la herencia en las influencias del desarrollo del sistema nervioso, estableciendo que el factor causal, clave en las bases de las diferencias individuales de la capacidad mental, es la discriminación sensorial . . . *the more perceptive the senses are of differences, the larger is the field upon which our judgment and intelligence can act...* (Galton, 1883, citado por Jensen, 1999) asumiendo que cuanto más capacidad de discriminación perceptivo-sensorial tengan nuestros sentidos para captar la información que reciben, mayor será la inteligencia.

Así, e influenciado por la psicología fisiológica, se interesó por las medidas simples de la función cognitiva. En *Inquiries into human faculty* (1883) sentó las bases de sus primeros tests sensoriales y perceptivos, los cuales fueron desarrollados en el laboratorio antropométrico de Londres en 1884 bajo el supuesto de que para la medida de la inteligencia debe de focalizarse sobre los procesos elementales simples, ya que consideraba el relativo mayor efecto de la genética sobre el ambiente en la capacidad mental. Otro autor contemporáneo al anterior es **Alfred Binet** (1857-1911), que en contraste a la intuición de Galton, daba más importancia a la influencia del ambiente y considera que la inteligencia es un conjunto de procesos psicológicos complejos y desarrolló los primeros tests psicométricos para la medida del nivel de intelectual o cociente intelectual (CI).

La Teoría de Spearman.

El concepto de inteligencia general (*g*) fue formalizado por Spearman (1904) a partir de la idea de la capacidad mental de Galton; éste, aunque tuvo la intuición no la expresó nunca en términos de un solo factor general de inteligencia. De manera que el *insight* es asignado a Spearman (Jensen, 1998), quién en 1904 publicó un trabajo titulado *General Intelligence, objectively determined and measured*.

2

Basado en observar el fenómeno natural de la variabilidad individual en alguna dimensión o rasgo físico o psicológico.

En sus investigaciones desarrolló el paradigma galtoniano basado en intentar medir las diferencias individuales en la capacidad de discriminación sensorial. Procediendo a administrar en una muestra de niños escolares una serie de tests sensoriales los correlacionó con sus puntuaciones de rendimiento académico, concluyendo que la hipótesis de Galton era correcta: *That the common and essential element in the intelligence coincides with the common and essential element in the sensory functions* (Spearman, 1904, citado por Brody, 2000). Es decir, en su trabajo inicial Spearman identificó la inteligencia general con la capacidad de discriminación sensorial (Mackintosh, 1998).

En 1923, formuló la teoría bifactorial de la inteligencia planteando que la puntuación de un sujeto en cada test está en función de dos factores independientes entre sí: un factor general común (*g*) compartido por todos los tests cognitivos y otro factor específico (*s*) o particular de cada test. Para contrastar esta teoría elabora un procedimiento que le permita determinar el grado de varianza común entre los diversos tests representativos de todas las capacidades cognitivas, inventando el método del análisis factorial: entonces observó que las matrices de correlaciones entre diferentes tests cognitivos siempre presentaban un patrón global de correlación positiva o el solapamiento positivo³ (*positive manifold*) y revelaban un factor general. En consecuencia, argumenta que el auténtico concepto de *capacidad mental general* no puede basarse en el sumatorio del promedio de los tests que miden capacidades diferentes, sino sobre las correlaciones entre éstas.

En definitiva, logró depurar y transformar el concepto original de capacidad mental, identificándola, mediante el análisis factorial, como un factor general común al que denominó factor general de inteligencia o factor *g*, escrito entrecomillado ("*g*") o simplemente con la letra *g* (C. Spearman, 1904, 1923). En la literatura científica también es conocido como la *g* de Spearman o el *g* psicométrico (Jensen, 1993a).

El factor *g* es la descripción de un factor (una abstracción matemática), y no constituye un concepto explicatorio (Spearman, 1923). Con ello queremos decir que aunque aporta pruebas estadísticas sobre la existencia de *g*, no logra definirlo psicológicamente. Así, en el primer libro reconocido de psicología cognitiva *The Nature of Intelligence and the Principles of Cognition* (1923) publica la solución del problema

3

Señala Juan-Espinosa (1997) que esta covariación o principio de solapamiento positivo entre dos medidas fue expresada matemáticamente por Pearson en forma del coeficiente de correlación. Éste principio fue basado en los supuestos teóricos de Galton para el análisis de la variabilidad individual como expresión matemática de las diferencias individuales. Spearman (1927) describió teóricamente las correlaciones entre las relaciones como la tendencia de todos los tests a estar positivamente relacionados.

teórico acerca de la naturaleza de *g*, que fueron los *principios de la cognición* postulados por la famosa trilogía de la noagénesis: *la ley de aprehensión de la experiencia, la ley de educación de relaciones y la ley de educación de correlatos* que fueron formulados con la pretensión de dar significación psicológica al factor *g*, que estará mejor representado en los tests psicométricos en función de la intensidad de su carácter abstracto y no genético⁴. Según Carroll (1993, citado por Juan-Espinosa, 1997), Spearman definió la inteligencia general como la capacidad de inferir relaciones y a partir de ellas educir correlatos y él mismo reconoció que la capacidad de razonamiento es un factor dependiente de *g*, pero distinto del mismo.

Posteriormente, en 1927, en *The ability of man* postuló otros principios cuantitativos para complementar la trilogía de noagénesis, ya que intuyó que la naturaleza del factor *g* era neurológica. De manera que, para la explicación de *g*, propuso el principio de la *energía mental*, como el más fundamental. Así, escribe: *yet now everywhere the energy invoked to explain the mental phenomena is not itself mental but neural* (Spearman, 1927, pp. 121). El fenómeno neural *g* es considerado en sus tesis como una energía potencial disponible en todo el cerebro... *the total nervous energy is at the disposal of the whole nervous system* (Spearman, 1927, pp 124), y postula que esta *energía* difiere cuantitativamente entre los individuos y vendría determinada genéticamente. Aunque esta noción de *g* como *energía mental* parece ser puramente metafórica (Brody, 1992). En resumen, la teoría de Spearman establece que el factor *g* (solapamiento positivo) es el efecto de una propiedad neurológica de funcionamiento unido que se implica en la actividad global del encéfalo en el rendimiento cognitivo. El argumento moderno para la visión de la naturaleza unitaria de la inteligencia humana parte del concepto de la *g* en el sentido de Spearman y ha sido efectuado por Arthur R. Jensen (1998).

3. El concepto de inteligencia general.

El constructo de la inteligencia general, desde que fuera descubierto por Spearman (1904), ha generado problemas teóricos que parten de las diferentes conceptualizaciones acerca de *g*, cada una con distintas propiedades; el adoptar una u otra está en la base de las discusiones sobre la naturaleza de la inteligencia (Sternberg, 1990, 1994). En el informe de Neisser *et al.* (1996) se señala que la naturaleza causal de *g* no se conoce *per se*. Es decir, el fenómeno *g* no es bien comprendido todavía, ya que se desconoce su significado real. Al que, por otra parte,

4

En la terminología de Spearman por noagénesis se entiende la capacidad de generación de un contenido de conocimiento nuevo desde la experiencia sensorial o cognitiva (Juan-Espinosa, 1997).

se le atribuyen distintas naturalezas: la de ser un simple artefacto matemático (un factor); la capacidad general de razonamiento abstracto; un índice de la *velocidad mental* y eficiencia del procesamiento de la información; o la de ser el reflejo de la memoria de trabajo (Neisser *et al.*, 1996), entre las más relevantes que a lo largo de la literatura, en el marco de la psicología diferencial cognitiva, se han vertido sobre *g*.

Antes de pasar a desarrollarlas, expondremos la actual concepción moderna de la *inteligencia* realizada en la declaración⁵, emitida por la mayoría de los científicos, en la que llegan a un acuerdo en la *definición de la inteligencia como una capacidad mental⁶ muy general* que implica la capacidad de razonar, preveer, resolver problemas, pensar en abstracto, captar ideas complejas, aprehender rápidamente y aprovechar la experiencia.

Por otro lado, en el significado normal del vocablo *inteligencia* hallado en los diccionarios típicos del lenguaje, que es sinónimo de capacidad, entendimiento, ingenio, razón, comprensión, etc., se detecta que éstas caracterizaciones son solo algunas de las consecuencias comportamentales que seguirían a la conceptualización de la inteligencia como una capacidad de conocer, de comprender y de hacer *insight*⁷ (Robinson, 1999).

Anteriormente, ya mencionamos que en este apartado nos circunscribiremos al concepto científico de la inteligencia general (*g*), derivado de la fenomenología del factor *g*. A continuación, realizaremos la distinción entre los conceptos de factor *g* y el cociente intelectual (CI).

El constructo científico de la inteligencia general (*g*) está basado en el solapamiento positivo o en la varianza evidenciada por la correlación positiva de varios tests representativos de todas las capacidades cognitivas que cargan en un factor común a todos ellos (factor *g*) mientras que el cociente intelectual (CI) está basado

5

En Grandes acuerdos de los científicos sobre la inteligencia. Esta declaración fue publicada originalmente en 1994 en el *Wall Street Journal* y en la revista *Intelligence* en 1997.

6

Por *capacidad* significamos un constructo psicológico que hace referencia a un tipo de comportamiento o rendimiento que puede clasificarse en una escala estandarizada objetiva, y por *mental* se entiende generalmente todo aquello que contribuye a las diferencias individuales en el comportamiento y que no puede atribuirse a las propiedades físico-sensoriales y motoras del individuo (Jensen, 1987, 1994).

7

Traducido por *percepción de relaciones* o *abstracción de relaciones*. Señala Ira Altman (1997) que originalmente el fenómeno *insight* fue propuesto por los psicólogos de la gestalt como uno de los fenómenos asociados con los rendimientos inteligentes. El *insight* es descrito como: *una percepción de relaciones que alude a un acto mental, a una ejecución interna, a una intangible mirada dentro de la conciencia introspectiva del sujeto; un plan particular de acción dirigido a la resolución de un problema que se experimenta bajo un momento de lucidez súbito (clarevidencia).*

en el sumatorio medio ponderado de los tests cognitivos (inteligencia en general). Con ello queremos poner de manifiesto que el CI es una variable arbitraria no un constructo científico (inteligencia general) (Colom, Abad, García y Juan Espinosa, 2000, 2002). Aunque son conceptos distintos, en un sentido teórico, se considera que el CI es un estimador del efecto del factor g , de manera que ambos se utilizan indistintamente, ya que normalmente se asume que son equiparables (Gottfredson, 1999).

La idea propuesta por Stern (1912) de comparar la edad mental con la edad cronológica fue traducida por el cociente intelectual (CI). Se trata de un indicador cuantitativo para la medida de las diferencias individuales por las puntuaciones en los tests de inteligencia psicométrica, que refleja el rendimiento de un sujeto en relación a su grupo de referencia. La mayoría de los tests psicométricos adoptan una escala de referencia estandarizada (media=100 y desviación estándar=15). La puntuación de CI permanece como una medida relativamente estable a lo largo de la vida de un sujeto y, aproximadamente el 95 por 100 de la población tiene puntuaciones dentro del rango de 2 desviaciones típicas por encima y por debajo de la media (rango entre 70-130).

Los tests psicométricos constan de una serie de ítems (problemas, preguntas) y su diseño combina cerca de una docena de capacidades cognitivas específicas (*i.e.*, verbal, espacial, numérica, razonamiento etc.) y se fundamentan en que estas pruebas específicas reflejan en diferente grado el efecto de la capacidad cognitiva general (g), además de medir las capacidades específicas requeridas por el test particular (ninguna mide solamente g) (Jensen, 2000; Gottfredson, 1999). Por ejemplo en las escalas de Wechsler, cada subtest tiene una porción de varianza no compartida por otros tests que se le atribuye como propia y exclusiva, y el porcentaje total de la varianza de todos los subtests explicado por g es del 30% (Colom *et al.*, 2000).

Teóricamente, el resultado de la puntuación individual del CI global de un test similar al WAIS proviene del factor g , de la mezcla de capacidades específicas y aprendizajes (Colom, Abad *et al.*, 2002). Razón por la cual, el factor g puede extraerse de las puntuaciones de cualquier batería de tests representativa, mediante el análisis factorial que permite proceder a separar estadísticamente el componente g del CI, controlando el efecto del sesgo cristalizado o el componente de aprendizaje. Esta posibilidad ha permitido demostrar que el valor predictivo de las pruebas de inteligencia deriva casi por entero de g y no de las capacidades específicas o de su adición (Gottfredson, 1997;1999; Colom, Abad *et al.*, 2000).

El rendimiento cognitivo, cuantificado por la inteligencia psicométrica (CI), en el sentido amplio, se refiere a la puesta en juego de una serie de: conocimientos, capacidades, habilidades, destrezas, aprendizajes y otros factores (*i.e.*, personalidad, estado emocional, expectativas, etc.), además de g , que vendrían expresados en la

resolución de los tests de rendimiento (CI). Aunque estos factores no actúan por separado, se considera que el rendimiento (CI) es consecuencia de la existencia de una única inteligencia general (*g*), no un simple reflejo de ella o un sinónimo. El concepto de inteligencia única contrasta con las teorías de Gardner (1983, 1993) quién considera la existencia de *inteligencias múltiples*. También han sido propuestas diferentes formas de inteligencias: la inteligencia emocional (Salovey y Mayer, 1990; Mayer, 1993) que es considerada por algunos autores como un *interface* entre cognición y personalidad (Gottfredson, 1999); o el constructo de inteligencia práctica que se considera independiente de la capacidad cognitiva general (Taub, Hayes *et al.*, 2001).

A. ARGUMENTO PSICOMÉTRICO A FAVOR DE *g*.

El principal argumento psicométrico está basado en el **solapamiento positivo** presentado por el **factor *g*** descubierto por Spearman (1904, 1923). Posteriormente, dicho factor ha sido confirmado por los análisis psicométricos contemporáneos que le asignan una singular posición en el cima del esquema jerárquico de la inteligencia (Carroll, 1993). Así, para muchos teóricos de la inteligencia, el factor *g* ha constituido el fenómeno empírico más relevante de la ciencia psicológica (Spearman, 1927; Jensen, 1998; Carroll, 1993; Brody, 1992; Colom, Abad *et al.*, 2000).

Mientras que otros autores consideran que el factor *g* es una simple abstracción matemática que emerge de un análisis factorial, ya que técnicamente, el factor general es la proporción de variancia de una matriz de correlaciones que es explicada por el primer componente de un análisis factorial de componentes principales. Se trata de una técnica estadística en la creación de la dimensionalidad que intenta descubrir que parte de la variación es explicada por un factor común.

El problema es el tipo de análisis que mejor representa el patrón de la matriz de intercorrelaciones entre los ítems de los tests psicométricos. Así, uno de los puntos más controvertidos sería la elección del método de extracción de factores utilizado para realizar la reducción de la dimensionalidad propuesta. Lo que presupone, desde un punto estrictamente científico- según Sternberg (1990)- tener concepciones *a priori* sobre la inteligencia, ya que el método elegido correspondería a las entidades científico-psicológicas preconcebidas. Por ejemplo los modelos multifactoriales como las Aptitudes Mentales Primarias (PMA) (Thurstone y Thurstone, 1941) se basan en la preconcepción de la estructura simple de la inteligencia y en el criterio de independencia factorial en el que cada uno de los diferentes grupos de factores está significativamente saturando en solo ciertos grupos de tests y no hay un factor general.

Con ello queremos decir que el factor general no es inevitable, ya que emerge desde un análisis factorial jerárquico y solo si está latente en una matriz de correlaciones particular (Jensen, 1998). Los resultados de los análisis psicométricos muestran que el *g* psicométrico es un factor muy estable, que permanece remarcablemente invariable a través de diferentes algoritmos de análisis factorial y relativamente invariable a lo largo de diferentes baterías de tests y de diferentes poblaciones (Jensen, 1998, 2000; Ree y Earles, 1991; Jensen y Weng, 1994).

Aunque, como señala Gottfredson (1999), el resultado del análisis factorial no tiene porque ser siempre una única dimensión general como se predice. Así, por ejemplo, en el dominio de la personalidad se han hallado varias dimensiones (*i.e.*, extraversión-introversión; neuroticismo y psicosis), pero no ocurre así en el dominio del rendimiento cognitivo donde emerge una única dimensión. La idea introducida más importante aquí, según Robinson (1999), es que aunque pueden haber diferentes dimensiones del rendimiento cognitivo, *hay solo una dimensión de inteligencia*. Según Detterman (1982) se considera que el valor de la parsimonia científica es un argumento a favor de *g*, ya que la explicación simple basada en un solo factor de inteligencia siempre es preferible a una explicación compleja en base a múltiples factores.

Para poder explicar o/e interpretar el fenómeno del factor *g* muchos autores consideran que se requiere ir más allá del análisis factorial con el objetivo de aportar evidencias y argumentos a favor de su existencia. Por ejemplo, también ha sido hallada una fuente de variación genérica y común en el plano cognitivo (ver Detterman, 1982).

B. ARGUMENTO COGNITIVO A FAVOR DE *g*.

B. 1. El principal argumento cognitivo a favor de la existencia de *g* está basado, siguiendo a Detterman (1982), en los postulados efectuados por Belmont y Butterfield (1982) sobre la existencia de *un metaproceto* llamado *ejecutivo central*, cuyo funcionamiento es análogo al factor *g*, ya que muestra efectos sistemáticos sobre el rendimiento cognitivo. **El concepto de metaproceto** fue utilizado por la teoría de Robert Stenberg para ofrecer una explicación de *g*. Aunque dicho autor, al igual que Detterman, es más bien conocido por su postura crítica a la teoría de *g*. Recientemente escribe, y claro está, que: *la capacidad general no ha sido aceptada dentro del criticismo* (Stenberg y Grigorenko, 2002). Y, especialmente - señala Bates (2004)- por los teóricos que abogan por la denominada *aproximación de sistemas*⁸ (*i.e.*, Gardner,

8

Señala Stenberg (1994) que *la aproximación de sistemas* es para referirse a la interacción de la cognición y el contexto, como un sistema.

1993; Sternberg, 1994), motivados particularmente por la creencia de que la inteligencia pueda depender intrínsecamente de la cultura y el aprendizaje.

La explicación de g de Sternberg se produce dentro de su teoría de los componentes cognitivos (1977; 1983), la cual se formuló para descomponer el rendimiento de un test en los componentes (elementos u operaciones del PI) requeridos para su ejecución. Un componente es un constructo hipotético definido como un proceso de la información elemental que opera bajo representaciones internas de objetos y símbolos (Jensen, 1998). Según (Detterman, 1982), en la ejecución de las tareas de los tests, que implican demandas de procesos y componentes cognitivos diferentes, se observó que los componentes estaban interrelacionados en su contribución al rendimiento, cuando se esperaba que serían independientes. Para explicar éste fenómeno fueron hipotetizados los *metacomponentes*. Se trata de unos procesos *ejecutivos centrales* de alto orden, que gobiernan el desarrollo y coordinación de los componentes más elementales necesarios para la resolución de los problemas de los tests.

Para Sternberg (1985)... *la esencia de la inteligencia es el autogobierno mental*. Desde esta perspectiva, g es concebido como el representante de la operación de un particular conjunto de componentes de alto orden (llamados *ejecutivos centrales*) que controlan los programas computacionales del cerebro, que se activan en la resolución de un problema de razonamiento (Sternberg, 1985, citado por Crinella y Yu, 2000). La capacidad de **razonamiento abstracto** se ha venido postulando como el núcleo central de la inteligencia general (Mackintosh, 1998). El análisis de los procesos, componentes y reglas subyacentes al razonamiento ha sido central en la investigación de la psicología cognitiva (Sternberg, 1979; Mackintosh, 1998).

Susan E. Embretson *et al.* (2000) señala que Sternberg expande los tres principios cognitivos de Spearman y los conecta a la teoría de los componentes cognitivos. Por ejemplo, el principio de educación de relaciones es similar al concepto de inferencia de Sternberg (1977) en el cual una relación se infiere entre dos pares de estímulos. En su terminología sería ejecutar la correcta operación de inferencia como la operación básica esencial de la capacidad de razonamiento inductivo (Sternberg, 1983) y, por lo tanto, el origen básico de las diferencias individuales en inteligencia general sería la capacidad de aplicar las reglas de inferencia (Carpenter, 1990).

En resumen, cognitivamente, se argumenta en favor de la importancia de la *metacognición* en la explicación de la capacidad de razonamiento, que es el proceso cognitivo subyacente a la inteligencia general.

B. 2. Dentro de la aproximación cognitiva, **la capacidad de la memoria de trabajo** está considerada como una variable latente importante para la explicación de

las diferencias individuales en la inteligencia general/razonamiento fluido, el aprendizaje (*i.e.*, Luo y Petrill, 1999; Kyllonen y Christal, 1990; Sternberg, 1979). La memoria de trabajo (MT) está conceptualizada como un recurso cognitivo global que establece un factor limitante común para el rendimiento en un conjunto de diferentes tareas (*i.e.*, Necka, 1992; Kyllonen y Christal, 1990).

Según Rooy, Stough (2001) el modelo clásico de Baddeley (1992) define la memoria de trabajo como un sistema atencional de capacidad limitada provisto de un almacén temporal central para que la información pueda ser manipulada o retenida por un periodo corto de tiempo. Algunos teóricos creen que éste sistema atencional, que comprende: un *ejecutivo central* y dos sistemas subordinados (la plataforma fonológica y el sistema visual) puede simultáneamente tener almacenada la información y procesarla.

La memoria de trabajo (MT) (*working memory*) es un término que se basa en la propuesta de Daneman y Carpenter (1980) de distinguir la MCP del término de la MT por la adición de un componente de procesamiento: la MCP solo mantiene la información mientras que la MT la procesa. Así, MT es un componente de procesamiento de la memoria a corto plazo (MCP) y comprende las funciones de focalizar la atención y juega un papel activo en la manipulación y transformación mental de la información, así como de transferir la información de la MCP a la MLP (Jensen, 1998).

Algunos teóricos cognitivos (*i.e.*, Lehl y Fisher, 1988, 1990) hipotetizaron que el constructo de la MT estaría en el núcleo de procesamiento unitario de la inteligencia general. En su modelo combinan la velocidad del PI con MT y postulan que la MT puede estar más altamente correlacionada con g que una medida de velocidad. Según Jensen (1998), empíricamente hay una relación muy estrecha entre ambas en los paradigmas de tareas duales de TR en los que el sujeto debe de atender a dos tareas simultáneamente. La esencia de las teorías de la memoria de trabajo se fundamenta en la capacidad de almacenamiento limitada de la memoria sensorial, en consecuencia, la posibilidad de saturar el sistema será menor cuanto mayor sea la velocidad de procesamiento, resultando ésta velocidad aquí una ventaja definitiva (Jensen, 1998).

Para finalizar, los análisis teóricos de los tests de razonamiento (AMP de Raven) señalan que ambos, la capacidad de memoria de trabajo y los procesos de control general (o el factor de capacidad hacia la inducción de relaciones abstractas), constituyen los dos orígenes esenciales para la explicación de las diferencias individuales en inteligencia general (*i.e.*, Pellegrino y Glaser, 1979; Embretson, 1995; Carpenter *et al.*, 1990). A pesar de que ambos (memoria de trabajo y razonamiento) aparezcan relacionados hay considerables evidencias de que son muy distintos (Kyllonen y Christal, 1990).

C. ARGUMENTO BIOLÓGICO A FAVOR DE *g*.

Otro de los argumentos para justificar al factor *g* se fundamenta en las tesis sobre su naturaleza biológica. En la aproximación biológica, los investigadores han orientado sus estudios hacia el cerebro como la base para la búsqueda de nuevas ideas sobre qué es la inteligencia y cómo medirla (Neisser *et al.*, 1996). En éste enfoque se han sugerido varios aspectos de la anatomía y de la neurofisiología cerebral como los potenciales determinantes biológicos más relevantes en el estudio de la inteligencia. De acuerdo con ésta posición, una de las hipótesis más significativas es la de Eysenck (1982, 1987) y Jensen (1982, 1993a, 1998), quienes proponen que el constructo *g* es el producto de un único determinante biológico definido en términos de la velocidad-eficiencia neural.

El argumento moderno para la visión unitaria de la inteligencia general, definida como el *g* psicométrico, está en congruencia con los postulados de Spearman (1927) y ha sido efectuado por A. Jensen (1998, 2000). En sus tesis viene a sostener que la naturaleza de *g* no puede ser descrita en términos de una capacidad psicológica, ni puede ser explicada en el dominio de los procesos cognitivos, puesto que se trata de una propiedad biológica del cerebro. De ahí viene que *g* está conceptualizada como un proceso neurofisiológico (la velocidad-eficiencia del sistema nervioso para procesar la información), susceptible de poder medirse con tests fisiológicos que se constituyen en *vehículos* para la representación de *g*. Ya que -según Jensen (1998)- como un constructo, el factor *g* no depende de un determinado vehículo para su representación. De manera que puede representarse con variaciones en grados de conveniencia, eficiencia y validez por una variedad de vehículos (*i.e.*, tests psicométricos, índices neurofisiológicos, técnicas de laboratorio, etc.).

La aproximación reduccionista ha sido muy criticada, ya que se argumenta que en ella se pretende reducir un fenómeno complejo como el de la *inteligencia* hasta un único fenómeno biológico, cuyo planteamiento consideran que resulta inapropiado para la explicación de los fenómenos conductuales o psicológicos (*i.e.*, Detterman, 1982; Mackintosh, 1998). Por otra parte, los estudios desde ésta aproximación han generando debates bioéticos⁹ por sus implicaciones en la concepción de la naturaleza humana.

No nos extenderemos más aquí, ya que el capítulo 4 está dedicado a la aproximación biológica (neural), donde la hipótesis de la velocidad-eficiencia neural será la sustancia. Además revisaremos los principales estudios realizados por Jensen y otros investigadores en la búsqueda de los correlatos biológicos del constructo *g*.

9

Ver Jeremy Gray y Paul Thompson (2004). Neurobiology of Intelligence: Science and Ethics. *Nature Neuroscience*, 5: 471-482.

III. LA APROXIMACIÓN PSICOMÉTRICA AL ESTUDIO DE LA INTELIGENCIA.

La aproximación psicométrica en la comprensión de la estructura del dominio psicológico ha analizado las puntuaciones de las escalas de los tests psicológicos, mediante métodos de análisis factorial, para identificar las dimensionalidades que forman la estructura de la inteligencia (Gustafsson y Undheim, 1996).

Desde ésta aproximación, a la que nos referimos, valoramos los esfuerzos taxonómicos que en la actualidad han logrado el mayor grado de acuerdo en cuanto a la clasificación de las capacidades mentales desprendida por los análisis psicométricos de la estructura del intelecto realizados por Carroll en 1993, que vienen determinados por sólidos resultados en cuanto al factor g ; atribuyendo la justificación de la inteligencia a un solo factor general; otros elementos como las capacidades lingüísticas o matemáticas estarían por debajo de g en la jerarquía de las capacidades humanas (Gottfredson, 1999).

Así, en este capítulo expondremos brevemente la interpretación de la estructura contemporánea de la inteligencia, derivada del modelo de los tres estratos de Carroll y el modelo de la inteligencia de la Gf-Gc de Cattell-Horn. Éste último ha venido considerándose el fundamento teórico del test del WAIS y la mejor aproximación teórica al modelo de la inteligencia (Flanagan, McGrew y Ortiz, 2000), por lo que analizaremos las relaciones estructurales entre las dimensiones de inteligencia fluida y cristalizada con el factor g .

1. Teorías y modelos de la inteligencia.

La evolución de la teorías psicométricas comprende varios intentos por llegar a una completa taxonomía de las capacidades y aptitudes¹ mentales. A lo largo del tiempo se han presentado varios modelos sobre la estructura de la inteligencia, consecuentemente derivados de diferentes teorías y cada una ellas proporciona un marco taxonómico para la clasificación y el análisis de las capacidades cognitivas.

Para el estudio de la estructura de la inteligencia, la aproximación psicométrica se desarrolla a partir del método del análisis factorial, cuya lógica y concepciones no constituyen objetivo de este trabajo. Anteriormente ya hicimos la consideración que las respuestas al consenso sobre la estructura de la inteligencia emergen del método de análisis de datos empleado, el cual es una consecuencia de las concepciones teóricas sobre la inteligencia (Sternberg, 1990).

En esta exposición seguiremos a Juan-Espinosa (1997). Los modelos que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo como el de Cattell-Horn, Burt y Vernon, entre otros, están basados en el análisis factorial jerárquico derivado de los estudios

1

Los términos aptitud y capacidad (del inglés *ability*) son definidos por Carroll (1993) como atributos o potencialidades en el estudio de las diferencias individuales.

iniciales de Spearman. Mientras que los factorialistas Thurstone (1941) y Guilford (1967) aplicaron técnicas de análisis factorial múltiple, restando importancia al factor *g* para teorizar sobre un número de factores grupales independientes en la estructura de la inteligencia humana. De manera que, el punto crítico del debate se sitúa en la cuestión: estructura unifactorial vs multifactorial o entre los que consideran que la inteligencia está mejor conceptualizada como una capacidad general unitaria y los que consideran que esta mejor representada por una confederación separada de múltiples capacidades específicas independientes. Debate, por otra parte, parece haber llegado a su esclarecimiento y a su fin, cuando Carroll (1993) presentó las conclusiones de un macroanálisis de datos que confirman la estructura factorial de la inteligencia por el modelo de los Tres Estratos, considerado como la síntesis final de unificación de los modelos más significativos de la estructura de la inteligencia.

Según Flanagan, McGrew y Ortiz (2000), las teorías psicométricas de la inteligencia que han figurado en la teoría de *g* (*i.e.*, bifactorial de Spearman, 1927; la Gf-Gc de Cattell, 1971; las Aptitudes Mentales Primarias de Thurstone, 1941), convergen recientemente en una de las más completas taxonomizaciones de la estructura de la inteligencia contemporánea en los modelos de Carroll y el Cattell-Horn. De este modo, la existencia de un factor general de inteligencia no se opondría a la estructura multifactorial de factores independientes. En la actualidad, puede decirse que los principales modelos para la explicación de la estructura de la inteligencia, que han tenido más aceptación y han sido los mejor validados, son los llamados modelos estructurales jerárquicos que han figurado en la teoría de *g*.

Comentaremos brevemente el modelo de Carroll, del que es interesante destacar que no es un modelo empíricamente derivado del análisis factorial *per se*, en el sentido de que Carroll no parte de preconcepciones teóricas previas. Basado en un extensivo macroanálisis de cerca de 500 matrices de correlaciones de datos empíricos originales obtenidas desde 1925 a 1987 por los diferentes autores que han investigado la estructura psicométrica de la inteligencia. Ver datos técnicos en *Human Cognitive Abilities*, de Carroll (1993) y el libro *Geografía de la inteligencia humana*, de Juan-Espinosa (1997).

Como resultado del macroanálisis de datos psicométricos a los que incorporó los datos de las aportaciones de la psicología cognitiva tales como los datos cronométricos de medidas de velocidad del PI, de memoria etc., obtuvo una estructura jerárquica de la inteligencia ordenada en tres estratos. El estrato hace referencia a una medida absoluta del grado de generalidad de las capacidades y aptitudes cognitivas. El grado generalidad se clasifica en: específica (estrato I), amplia (estrato II) y general (estrato III).

En el Estrato I, en el nivel (1) más bajo del estrato, el modelo identifica un gran

número de aptitudes mentales específicas tales como las presentadas tradicionalmente por el modelo de Guilford (1956) o el modelo de Thurstone (1947). El Estrato II, en un segundo nivel (2) inmediatamente superior, encontramos los factores amplios o dimensiones de la inteligencia de segundo orden, tales como los identificados por Cattell-Horn. Por último, en el nivel (3) o superior, en el estrato III, Carroll (1993,1997) halla que el factor g (3G) se sitúa en la cima del modelo y confirma que es análogo a la g de Spearman.

Otro de los modelos teóricos más comprehensivos y el soporte empírico más importante hallado para la teoría psicométrica de la inteligencia es el modelo Gf-Gc de Cattell-Horn (Flanagan *et al.*, 2000) que también ha sido propuesto para la interpretación de las escalas de Wechsler (Flanagan *et al.*, 2000; Sternberg y Kaufman, 1998). De ello hablaremos más adelante en el apartado dedicado al test y no nos extendremos ahora en este modelo ya que en el siguiente apartado desarrollaremos su teoría y veremos como se relaciona estructural y factorialmente el factor g en los modelos de Carroll y Cattell-Horn.

En la **figura 3.1.**, presentamos un esquema de la estructura de la inteligencia psicométrica humana en tres niveles, basada en los modelos contemporáneos de Cattell y de Carroll y en la **tabla 3.1.**, presentamos un cuadro resumen del modelo de Carroll (1993). Para su elaboración nos hemos basado en Juan-Espinosa (1997).

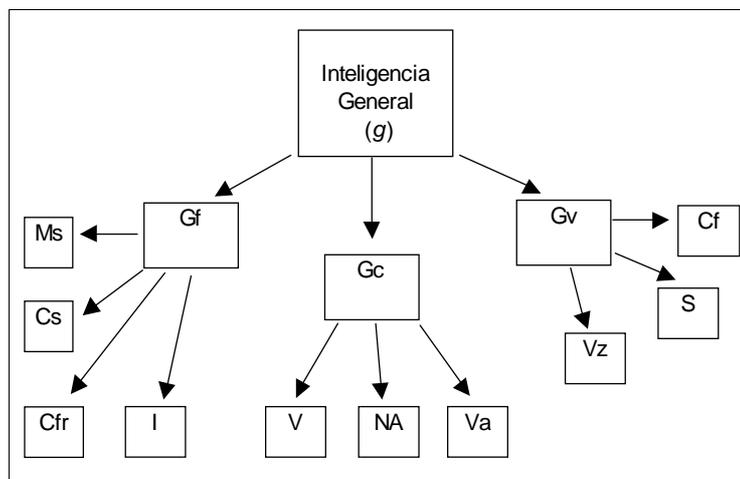


Fig. 3.1.- Esquema de la estructura de la inteligencia psicométrica humana en tres niveles. En un tercer nivel tenemos un factor de inteligencia general (g de Spearman); en el nivel 2 tenemos los factores de grupo Gc, inteligencia cristalizada; Gf, inteligencia fluida; Gv, capacidad general de visualización; y en el nivel 1 están representadas las aptitudes específicas. Abreviaciones: Cf, flexibilidad de clausura; Cfr, configuración de relaciones figurales; Cs, velocidad de clausura; I, inducción; M, memoria span; NA, conocimientos matemáticos; S, orientación espacial; V, comprensión verbal; Va, conocimientos verbales; Vz, visualización (Tomado de Deary y Caryl, 1997).

Tabla 3.1. Modelo de la inteligencia mediante la agrupación taxonómica de los factores en los tres estratos de Carroll (1993).

Estrato III	
3G	Factor de Inteligencia general o factor <i>g</i> que emerge siempre del segundo o tercer nivel de factorización. Afecta a factores de segundo orden la <i>Gf</i> , la <i>Gc</i> etc.
Estrato II	
2F	Factor de Inteligencia Fluida. En este factor ponderan factores del estrato I como razonamiento secuencial y cuantitativo, inducción y relaciones visuo-espaciales.
2C	Factor de Inteligencia Cristalizada. En este factor saturan principalmente aptitudes del estrato I como la aptitud verbal y el lenguaje. Esta influenciado por la cultura y los aprendizajes.
2Y	Aptitud amplia de memoria. Implicada en tareas que requieren aprendizaje de nuevos conceptos nuevos y su memorización. Ponderan en este factor variedades de la memoria, como memoria asociativa, amplitud de memoria memoria semántica, y aptitud para el aprendizaje.
2V	Percepción Visuoespacial. La función cognitiva implicada se refiere a tareas que requieren procesamiento sensorio-perceptivo visual. Los factores más relevantes que ponderan aquí son visualización, relaciones espaciales y rapidez perceptiva.
2U	Percepción auditiva. Este factor agrupa a los factores primarios perceptivos (discriminación auditiva, percepción del habla etc.).
2R	Capacidad amplia de recuerdo o recuperación. Predominan factores del primer estrato como fluidez ideativa, fluidez verbal etc. Y está implicada en las tareas que requieren la recuperación de la memoria a largo plazo.
2S	Velocidad Cognitiva general. Factor de orden superior que se agrupa en tareas que requieren procesamiento rápido de la información. Y hace referencia a medidas de velocidad de respuesta. Están implicados los factores como rapidez perceptiva, TR simple, rapidez de comparación mental. Este factor agrupa dos subfactores: 2T , que hace referencia a la rapidez en la toma de decisiones principalmente en tareas de TR; y 2P : velocidad de respuesta motora.
Estrato I	
	Aquí se sitúan las aptitudes primarias o específicas, de las que hay una gran heterogeneidad. Este estrato abarcaría las aptitudes del tipo propuesto por Guilford, los TR, los TI o las aptitudes requeridas en los tests psicométricos cognitivos.

2. El factor *g* y la teoría de Cattell-Horn.

Las posteriores concepciones de la teoría de Spearman (1904, 1923, 1927) sobre el factor *g* o la inteligencia general han generado problemas teóricos. Así, Robinson (1999) señala que la posición de Mackintosh (1998) mantiene que *la inteligencia general puede ser definida como la inteligencia fluida (*Gf*)* medida por tests saturados de capacidad de razonamiento abstracto como las AMP de Raven; mientras que Jensen (1998, 2000) sostiene que la inteligencia general puede conceptualizarse

como la g en el sentido de Spearman, medida como el primer componente principal de un análisis de componentes principales (o el factor g). En éste sentido, el fenómeno del g psicométrico es identificado o expresado en términos psicológicos por el solapamiento positivo.

En este apartado expondremos las conclusiones de las relaciones factoriales entre el factor g y la inteligencia fluida (Gf) en los modelos de Carroll y Cattell-Horn. Como ya señalamos, los modelos de la inteligencia derivan de las preconceptualizaciones sobre la misma. Así, para algunos teóricos, la inteligencia está mejor concebida como una dimensión unitaria (*i.e.*, Carroll, 1993; Jensen, 1998; Robinson, 1999) mientras que otros mantienen dos o más dimensiones (Cattell, 1963).

La teoría de la inteligencia fluida y de la inteligencia cristalizada (Gf-Gc) de Cattell (1963, 1987, 1971) está influenciada por la integración de dos ideas: por una parte, en la concepción de la inteligencia de Spearman para la obtención de medidas altamente saturadas de factor g como las de razonamiento fluido y, por otra parte, esta basada en las investigaciones del análisis multifactorial de las aptitudes mentales primarias de Thurstone.

Cattell identificó, mediante análisis factorial, dos dimensiones generales de inteligencia, éstas son: la inteligencia fluida (Gf) y la inteligencia cristalizada (Gc). La Gf es definida como *una capacidad general de percepción de relaciones, basada en la magnitud de la eficacia neurológica de la masa celular, que se presenta como una energía existente en cualquier comportamiento actual* (Cattell, 1971, citado por Juan-Espinosa, 1997). Así, la Gf corresponde a la ejecución no verbal e incluye capacidades razonamiento inductivo y deductivo que están influenciadas por factores neurobiológicos. Según Kline (1991) y Eysenk (1993), la Gf es definida como una capacidad de razonamiento que depende fundamentalmente de la neurología del cerebro.

En contraste, la inteligencia cristalizada (Gc) consiste en la cristalización de la fluida y se mide con tests verbales. De manera que las diferencias en la ejecución de los tests verbales son la manifestación en el aprendizaje (verbal-aprendizaje-conceptual) de las diferencias biológicas determinadas por la dimensión de la Gf (Taylor, 1994, citado por Flanagan *et al.*, 2000) más que una medida de aptitud mental básica o potencial.

En resumen, los conceptos de inteligencia fluida e inteligencia cristalizada no solamente influyeron en la explicación de la diferencias observadas entre la ejecución de los tests no verbales y verbales respectivamente, sino que la variación entre la Gf y la Gc también está asociada al concepto de la g de Spearman, por la proposición de que las diferencias en la calidad del tejido cerebral, indicada más claramente por los tests de Gf, causa diferencias en el aprendizaje que vienen expresadas por los

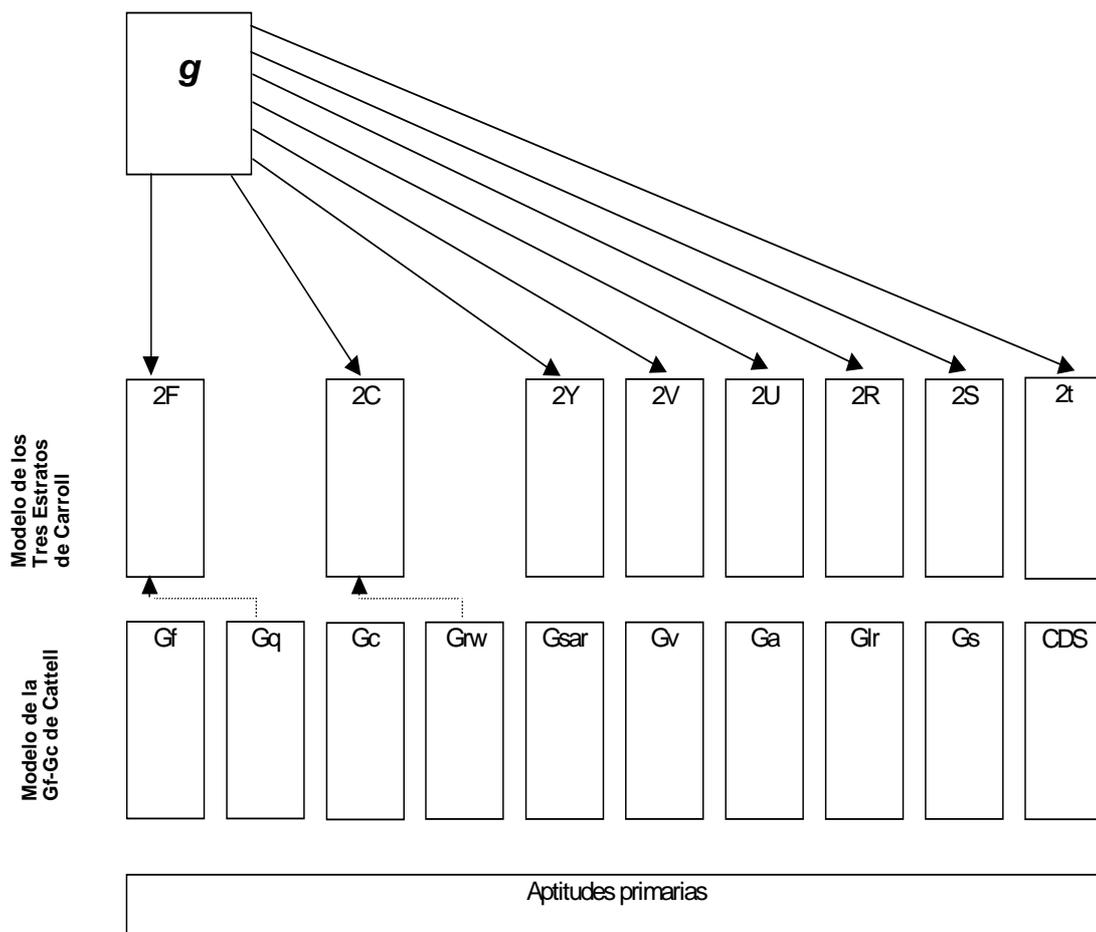
tests de la Gc (Robinson, 1999).

La teoría de la Gf-Gc constituyó originalmente la conceptualización dicotómica de las capacidades cognitivas. Horn (1985) reformuló el modelo y añadió una tercera dimensión de memoria a corto término (G_{sr}) o factor de memoria de trabajo, ya que se demostró que los tests no verbales inicialmente asociados a la Gf presentaban dos factores distintos: uno más fuertemente relacionado con los tests perceptuales y otro factor más relacionado con tests de memoria a corto plazo (Robinson, 1999; Mackintosh, 1998). Hakistan y Cattell (1978) completan la estructura de segundo orden (el grupo taxonómico del estrato II) del modelo jerárquico Gf-Gc, describiendo el resto de factores de segundo orden, entre ellos está: el factor de visualización (G_v), velocidad de procesamiento (G_s), capacidad de razonamiento numérico (G_q), etc. En su modelo, lo más destacable es que proponen reemplazar el concepto de la *g* de Spearman por el de inteligencia fluida y cristalizada.

El modelo Gf-Gc es estudiado por Gustafsson (1984) mediante un análisis factorial confirmatorio con el que aporta evidencias para una correlación perfecta entre el factor *g* y la Gf (son indistinguibles factorialmente). De manera que puede asumirse que la Gf es idéntica o una invariante del factor *g*. En su análisis, las dimensiones de la Gc (en el modelo de Carroll se sitúa en el estrato II junto a la Gf) y la capacidad visuoespacial (G_v) fueron identificadas como factores residuales y determina que el factor *g* se conserva como un constructo esencial. Lo que indicaría, según Brody (1992), la necesidad de introducir un factor *g* de orden superior en condiciones de explicar las relaciones Gf-Gc.

En la **figura 3.2.**, presentamos la simplificación de ambos modelos juntos. Siguiendo a Flanagan *et al.* (2000) en general ambos modelos presentan notables similitudes, incluyendo en el estrato II las dimensiones de la Gf junto con la Gc, además de las capacidades amplias de procesamiento visual y auditivo, memoria a corto término y de recuperación a largo plazo, y dos capacidades de velocidad. Una de las diferencias entre los dos modelos es que la capacidad de razonamiento cuantitativo (G_q) se presenta como una capacidad amplia en el modelo de Cattell, mientras que en el modelo de Carroll se considera una dimensión que forma parte de la inteligencia fluida.

La principal diferencia entre ambos modelos - que ya apuntamos - es la inclusión de *g*, como un único factor general de inteligencia en la cima del Estrato III del modelo jerárquico. Para muchos investigadores, el modelo de Carroll es un intento de reflejar las estrechas relaciones entre *g* y la Gf-Gc.



- 2F/Gf: Inteligencia Fluida.
 2C/Gc: Inteligencia Cristalizada.
 Grw: Capacidad de lectura y escritura.
 Gq: Razonamiento Cuantitativo.
 2y/Gsar: Memoria a corto término.
 Gy: Memoria General y Aprendizaje.
 2V/Gv: Capacidad Visuoespacial.
 Gu o Ga: Capacidad de procesamiento auditivo y perceptivo.
 2R/Glr: Capacidad amplia de recuperación y memoria a largo plazo.
 2S/Gs: Velocidad de Procesamiento.
 2t/CDS: Velocidad de decisión/TR.

Figura 3. 2.- El factor *g* y los estratos en los modelos de Carroll y en el modelo de la Gf-Gc de Cattell-Horn (Adaptado y modificado de Flanagan, McGrew y Ortiz, 2000).

Señala Juan-Espinosa (1997) que para Cattell g representa una cierta unidad funcional del sistema nervioso para procesar la información rápida y eficientemente, y aunque el correlato más directo de g sea su capacidad neurofisiológica, para Cattell no es identificable con ella ya que supondría un reduccionismo, sino que g es la resultante de la interacción de la capacidad neural con el ambiente. En resumen, el análisis factorial no se pone de acuerdo en cuanto a la inclusión del factor g .

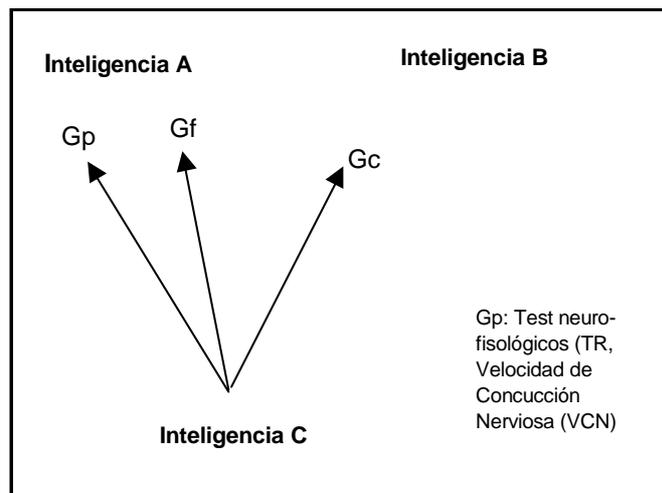


Figura 3.3.-Esquema de las relaciones entre el modelo de Cattell-Horn y el modelo de Eysenck. Adaptado de Vigil (1999).

De manera que con el objetivo de llegar a una mayor acuerdo universal en la investigación taxonómica sobre el concepto de inteligencia, autores como Eysenck (1991, 1993) postula que la velocidad-eficiencia neural del PI puede ser el principal factor determinante en la producción de las diferencias individuales en inteligencia psicométrica. Según Vigil *et al.* (1997) uno de los modelos más utilizados para estudiar las relaciones entre la velocidad del PI y la inteligencia psicométrica es el de Cattell-Horn. En el modelo de Eysenck (1982) se postuló la existencia de dos tipos de inteligencia basadas en las distinciones de Hebb (1949) de inteligencia biológica (A) e inteligencia social (B), parecidas a las definiciones Gf y Gc de Cattell respectivamente. A ésta clasificación, Vernon (1969) añadió la inteligencia C o la inteligencia psicométrica (CI).

Señala Vigil *et al.* (1997) que Hendrickson (1982), Eysenck (1985) y Jensen (1982, 1985) puntualizaron que la inteligencia biológica (inteligencia A) y la velocidad del PI están estrechamente relacionadas con g o Gf. La lógica de esta relación radica en que la inteligencia biológica (A) está relacionada con el potencial innato del individuo para realizar una efectiva y rápida transmisión neural de la información; una definición claramente análoga a la definición de inteligencia fluida (Gf). La inteligencia social (inteligencia B) estaría relacionada con la Gc tanto como ambas inteligencias reflejan las capacidades cognitivas adquiridas y están desarrolladas sobre las bases de la interacción entre la inteligencia biológica y las influencias ambientales. Bajo este

punto de vista, vemos la convergencia entre las aproximaciones factorial y biólogo en el estudio de la inteligencia (Vigil *et al.*, 1997).

Siguiendo a Vigil (1999), en la **figura 3. 3.**, podemos ver el esquema de las relaciones entre el modelo factorial de Cattell-Horn y el modelo biológico de Eysenck (1985) en la valoración del grado de relación entre las inteligencias A, B y C. Con la finalidad de mostrar las relaciones entre ambos modelos, Eysenck (1985) presenta los resultados de un hipotético análisis factorial en el que se combinan indicadores de Gf, Gc, e indicadores de velocidad de procesamiento (Gp). Ello daría lugar a tres factores correlacionados entre sí, siendo mayor la correlación entre los indicadores fisiológicos (Gp) con Gf que con Gc.

En resumen, según Vigil (1999), la validación de los diversos indicadores psicofisiológicos (Gp) de velocidad de procesamiento para la medida del constructo de la inteligencia biológica (A) y las medidas de inteligencia psicométrica (CI) se ha realizado en el marco del modelo Gf-Gc de Cattell-Horn. Así, la validez de los modelos factoriales jerárquicos es congruente con las principales ideas de los modelos biológicos, dado que la factorización pone de manifiesto un factor común a todos ellos; ello aunque no es condición suficiente para validar los modelos biológicos, ni implica que se pueda equiparar *g* con la inteligencia biológica, pero cuanto menos es una condición necesaria.

3. El test de Wechsler y la teoría de *g*.

La Escala de Inteligencia de Wechsler ha venido siendo desde que se publicó el test original en 1939 (Wechsler-Bellevue Scale, 1939) la más generalmente utilizada para la medida individual de la inteligencia psicométrica o el cociente intelectual (CI). Los subtests del WAIS proveen medidas del amplio rango de todas las capacidades cognitivas: incluyendo capacidades de razonamiento, visuo-espacial, numérica, memoria, etc., que están combinadas para la medida del CI global o total, constituyendo un *excepcional sumario de capacidades cognitivas* (Kaufman, 1990 p.56).

Sin embargo, el problema que se ha venido considerando recientemente es que la escala del WAIS consiste en una colección arbitraria de subtests que no tienen una fundamentación teórica racional (*i.e.*, Robinson, 1999; Flanagan *et al.*, 2000; Colom Abad, García y Juan-Espinosa, 2002). Así pues, nuestro propósito aquí es aportar las recientes investigaciones psicométricas sobre la validez de constructo *g* en el test de Wechsler.

3.1. Fundamentos teóricos.

Los conceptos, métodos y diseños involucrados en la ejecución de la Escala de Inteligencia de Wechsler han sido estudiados por numerosos científicos en los últimos 50 años. Woodcock (1994, citado por Flanagan *et al.*, 2000) señala que la construcción de los tests para la medida de la inteligencia ha de estar en conjunción con el grado de progreso en la comprensión y medida de la estructura de la inteligencia. En la actualidad se considera que la taxonomía contemporánea Gf-Gc es el marco teórico en el que deben fundamentarse, desarrollarse e interpretarse los constructos cognitivos subyacentes a los tests psicométricos (Flanagan *et al.*, 2000).

Antes de fundamentar las principales bases teóricas en la que se basó la construcción del test del WAIS, analizaremos un aspecto que hace referencia a la inclusión de tests verbales en la baterías de CI, ya que hay fundadas sospechas de un profundo sesgo cristalizado en el test del WAIS (Flynn, 1999).

Muchos autores consideran que las diferencias individuales en las medidas de inteligencia cristalizada pueden ser la consecuencia de diferencias en las oportunidades de adquirir información y aprendizajes relevantes. De manera que las diferencias en Gc son razonablemente descritas como diferencias en la capacidad verbal, porque particularmente reflejan esas diferencias en las que los sujetos toman ventaja de sus oportunidades (Mackintosh, 1998). Se asume popularmente que los tests verbales vienen sesgados por el efecto de un pobre factor educativo, porque una menor educación o un bajo nivel de instrucción causa bajas puntuaciones verbales.

Seguiremos a Robinson (1999) en la revisión de las escalas de Stanford-Binet (1916). Binet, después de mucho investigar, halla que los tests verbales ideados para valorar comprensión, aprendizaje general o vocabulario presentan mejor disposición para distinguir diferentes niveles de inteligencia. La idea implicada para la justificación de la predominancia de ítems verbales en las escalas de Binet es la siguiente: *La cualidad de una mente depende de la cualidad de los conceptos que utiliza para conocer y comprender el universo en el cual ellos existen.* Entonces, las relaciones entre conceptos y lenguaje asegurarían que la calidad de la mente pueda ser evaluada de manera más directa y efectiva por tests verbales.

Efectivamente, éste tipo de tests verbales han resultado ser más apropiados para distinguir diferentes niveles de capacidades cognitivas; aunque fue imposible distinguir qué median exactamente o de describir las propiedades de las escalas de medida de Binet, las puntuaciones fueron válidas porque distinguían diferentes niveles

de capacidades mentales, ya que Binet estaba más interesado en el nivel intelectual que en medir la inteligencia (Robinson, 1999)

Para la medida psicométrica de la inteligencia general, los tests de razonamiento abstracto no verbal son considerados más sensitivos. Ya que- según Jensen (1998)- g emerge de tests no verbales, y g en humanos no depende del uso del lenguaje. Aunque es obvio que los mejores tests de inteligencia son aquellos que discriminan las personas más inteligentes de las menos inteligentes, los resultados generales de los estudios de revisión de la escala de Stanford-Binet revelaron que los grupos de sujetos con un nivel intelectual alto son mejores sobre tests verbales que sobre tests no verbales mientras que lo contrario es cierto para los grupos de menor nivel intelectual (Matarazzo, 1972, citado por Robinson, 1999).

Así, los estudios de revisión de la escala también ponían en relieve que los tests verbales son medidas superiores de inteligencia comparadas con los no verbales, ya que las correlaciones más altas de la escala total fueron obtenidas más para los ítems de las escalas verbales que para los ítems de las escalas no verbales; ésto ha sido atribuido a la predominancia de puntuaciones verbales en el contenido de la escala total. Así, uno de los factores que influyó para el abandono de la escala de Stanford-Binet fue el excesivo contenido predominante de tests verbales en favor de la inclusión de tests no verbales en escalas tipo WAIS. Pero éstos mismos resultados ha sido encontrados repetidamente para las escalas del WAIS, aunque éstas supuestamente no serían de predominio verbal.

Para la construcción del test, Wechsler (1939), en apariencia, aceptó la definición de la inteligencia general (g) como una entidad global en concordancia con los criterios esenciales de Spearman y también con los de Binet. El test del WAIS satisface el criterio que implica que cualquier subtest debe estar positivamente correlacionado con los otros. De hecho, todos ellos se correlacionan positivamente en un rango que va de 0.33 a 0.81, siendo consistente con la asunción de que estos tests estarían midiendo un mismo rasgo o proceso común subyacente a la inteligencia general (Reynolds y Kaufman, 1990; Mackintosh, 1998).

La fracturación del concepto unitario de inteligencia por la dicotomización en escalas verbales (G_c) y no verbales (G_f) fue, en parte, debida a las necesidades pragmáticas de los clínicos para la valoración del rango de (des) habilidades en diferentes aptitudes y capacidades cognitivas (Robinson, 1999). Siguiendo a Kaufman (2000), la distinción entre entre CI Verbal y CI Manipulativo realizada por Wechsler fue subsecuentemente relacionada con la teoría neuropsicológica (Reitan, 1955) y con la teoría psicobiológica de la especialización cerebral (Sperry, 1968). Así mismo, la base teórica de la que partió el WAIS está directamente relacionada con las teorías

de la inteligencia de base biológica como la teoría de Cattell en la cual identificó las dimensiones de la Gc y la Gf, y así se procedió a realizar la distinción dicotómica entre escala verbal y no verbal respectivamente. Los tests verbales están asociados a la Gc y cargan factorialmente en los subtests de vocabulario, comprensión, información, semejanzas y aritmética del WAIS, mientras que los tests no verbales inicialmente han sido asociados a la Gf y cargan factorialmente en los tests de cubos de Kohs, figuras incompletas y matrices de razonamiento. La naturaleza de la distinción de los tests en ambas escalas (Verbal y Manipulativa) también viene justificada porque los tests verbales correlacionan entre ellos más altamente con el CI de la escala verbal que con cualquier otro tests de la escala manipulativa, y ésta misma tendencia de correlación ocurre para los tests manipulativos.

Los estudios de análisis factorial de la escalas de WAIS dan soporte a la teoría de la Gf-Gc-Gsar de Cattell-Horn. Así, concluyen que la escala verbal de Wechsler es una medida aproximada de la inteligencia cristalizada (Gc) (Matarazzo, 1972, citado por Kaufman, 2000), ya que este factor de Gc está más estrechamente cargado de tests verbales y es más una medida de los aprendizajes y de la aculturación del sujeto que de su capacidad mental básica o potencial (Robinson, 1999) y; la escala manipulativa del WAIS sería una media aproximada de la inteligencia fluida (Gf)(Matarazzo, 1972) aunque menos válida.

Finalmente, la tercera dimensión Gsar (memoria a corto plazo y recuperación) - cuyo rendimiento requiere la retención, manipulación y recuperación de la información en la memoria a corto plazo- está asociada al factor de memoria de trabajo del WAIS; saturan en ésta dimensión los subtests de aritmética y dígitos del WAIS que no se asocian fácilmente con la inteligencia general porque acontecen para una proporción relativamente pequeña del total de la varianza de los subtests del WAIS (Robinson, 1999).

En cuanto a la influencia de la aportaciones teóricas de la psicología cognitiva del PI en la construcción de los tests de inteligencia, podemos ver que en la reciente adaptación del WAIS III se han incorporado los tests de la memoria de trabajo (secuencias de números-letras) y el test de velocidad del PI (búsqueda de símbolos) para la medida de los constructos del PI (*i.e.*, memoria, velocidad). Ello sugiere que los conceptos del procesamiento de la información influyen el diseño e interpretación de las baterías de inteligencia (Flanagan *et al.*, 2000).

Sin embargo, según Flanagan *et al.* (2000), desde que emergiera la teoría psicométrica contemporánea de la estructura de la inteligencia (Carroll, 1993, 1997; Cattell, 1987) se han venido realizando recientemente críticas sobre las características teóricas, psicométricas y cualitativas del Wechsler (WPPSI-R; WISC-III, WAIS-III).

Así, en las múltiples revisiones realizadas a dicho test, se han argumentado deficiencias como instrumento de medida de la inteligencia y se concluye que no representa un buen ajuste a la interpretación actual de la estructura de la inteligencia, ya que se pone de evidencia que ésta es significativamente diferente de la conceptualización de la inteligencia que subyace a las escalas del Wechsler.

Los estudios demuestran que la administración individual de la mayoría de las baterías de inteligencia psicométrica (CI) no constituye una medida adecuada del rango completo de las capacidades amplias que la teoría e investigación psicométrica actual ha aportado; así lo han constatado (Flanagan, McGrew *et al.*, 2000; Woodcock, 1990). Concretamente, de las escalas de Wechsler, se señala que la escala verbal (CIV) no constituye una medida pura de inteligencia cristalizada, ya que dos de los subtests que contiene (aritmética y dígitos) son medidas de G_{sr}. De igual modo se sugiere que la escala no verbal (CIM) probablemente sea una medida combinada de G_f, G_v y G_s (Horn *et al.*, 1991; Kaufman, 2001).

Robinson (1999) estudia el test del WAIS mediante un análisis de componentes principales de las cargas factoriales de los subtests en los factores o dimensiones de G_f-G_c-G_{sr} de Cattell-Horn e introduce en el análisis las AMP de Raven, en concordancia con el criterio señalado de que para identificar en una batería de tests de inteligencia al factor *g*, han de incluirse tests de razonamiento inductivo no verbal como las AMP (Gustaffson y Undheim, 1996). Los resultados muestran claramente que el factor G_c fue el factor más estrechamente relacionado con las puntuaciones del CI total del WAIS; ésto viene a decir que presenta un sesgo cristalizado. Concluye que el CI total medido por el WAIS no es una medida válida del concepto de inteligencia general (*g*) (Robinson, 1999).

Otro estudio reciente que da soporte a la conclusión de que la escala total del WAIS no es una medida directa o exclusiva de la inteligencia general (*g*), es el realizado por Colom, Abad, García y Juan-Espinosa (2002). En su estudio extrajeron al factor *g* de la batería del WAIS-III, mediante el método de los vectores correlacionados. No hallaron relación significativa entre el constructo *g* y las diferencias en *inteligencia en general* (CI) valoradas en el WAIS-III. Señalan que, las diferencias en las puntuaciones de CI total reflejan la *inteligencia en general* (*g*+capacidades específicas+aprendizajes específicos) y no solamente inteligencia general (*g*).

Además, observaron que las diferencias halladas en el CI entre grupos de diferente nivel de instrucción o académico no son atribuibles al factor *g*, sino que tales diferencias pueden ser atribuibles a aptitudes cognitivas específicas objetivadas desde el test del WAIS, concluyendo que las diferencias en CI no están asociadas

directamente con diferencias en g , sino que el CI es altamente sensible a la especificidad de los aprendizajes estimulados por la educación. El mensaje de estos autores es que no siempre es razonable inferir diferencias en g desde diferencias en CI.

En resumen, podemos concluir claramente que los datos empíricos de las recientes investigaciones sobre la validez de constructo g en el WAIS vienen a apoyar la hipótesis de que el CI total del WAIS no constituye una medida directa del constructo de la inteligencia general.

3. 2. Los factores de inteligencia psicométrica del WAIS.

La historia del desarrollo de los tests de inteligencia psicométrica asume que cada factor producido por el análisis factorial es un *factor de inteligencia* (Robinson, 1999). En este apartado describiremos brevemente y mediante un ejemplo ilustrativo el proceso para la agrupación de los subtests en los cuatro factores de inteligencia del WAIS.

Seguiremos a Flanagan *et al.* (2000) para ilustrar el marco teórico conceptual utilizado para interpretar las puntuaciones de los tests de CI y agruparlos posteriormente en factores de inteligencia psicométrica. Como ejemplo ilustrativo vamos a presentar el test no verbal de figuras incompletas del WAIS, que consiste en

identificar la parte esencial desaparecida en un dibujo que representa una escena u objeto común (**figura 3.4.**). Este test requiere capacidad de percepción visual, memoria, concentración y la capacidad para diferenciar los detalles esenciales de los que no lo son. Todas ellas, son capacidades cognitivas localizadas en los diferentes estratos de los modelos de Cattell y Carroll. De este modo, mediante las investigaciones analítico factoriales, se ha hallado que

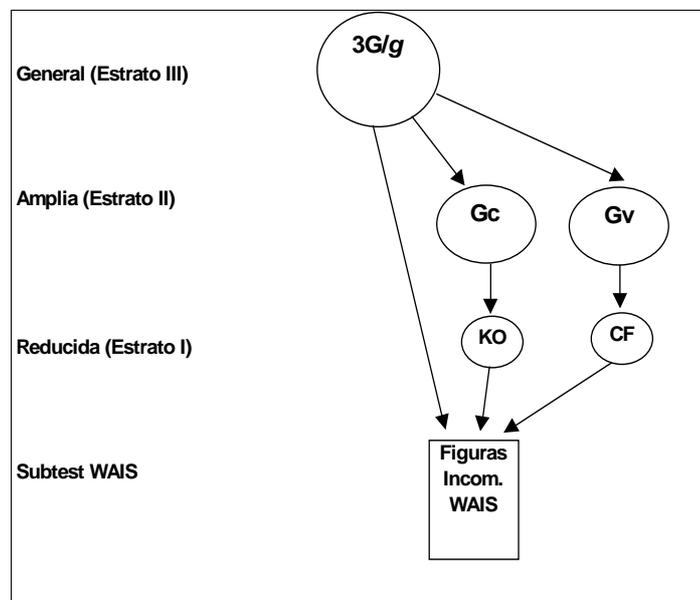


Fig. 3.4.- Las relaciones entre el subtests de Figuras Incompletas del WAIS y los Tres Estratos (reducido, amplio y general) y el modelo de la Gf-Gc de Cattell .

la mayor influencia sobre las puntuaciones del test que estamos analizando es g (Estrato III) que viene representada por el grado de influencia de g sobre la ejecución del test y se presenta por las saturaciones de factor g en éste. La cual esta directamente mediatizada por dos amplias capacidades del estrato II (*i.e.*, la G_v y la G_c).

La primera capacidad cognitiva de segundo orden medida por el test es la capacidad espacial y perceptiva (G_v), y G_c es la capacidad cognitiva que mide en segundo lugar. De las aptitudes del estrato I se sugiere que la capacidad viso-espacial (G_v) está más ligada a la flexibilidad de clausura (CF) mientras que la información general (KO) está más influenciada por la G_c . De este modo, por ejemplo, los tests de figuras incompletas y cubos de Kohs cargarían factorialmente en el factor de organización de la percepción, un factor de inteligencia producido por el WAIS-III y así sucesivamente se ha procedido en la agrupación de los subtests para el resto de los demás factores que vienen indicados en el WAIS-III como *factores de inteligencia*.

La estructura actual del test del WAIS deriva de los estudios analítico- factoriales de dicho test que dan consenso para el soporte de una estructura de 4 factores, para las permutaciones de los 11/14 subtests del Wechsler, en el que se halla un factor de segundo orden o factor g y cuatro factores de primer orden. De este modo, el test del WAIS-III está agrupado en 4 factores de inteligencia (Comprensión Verbal, Memoria de Trabajo, Organización de la Percepción y Velocidad del Procesamiento de la Información). Señala Kaufman (2001) que para Horn *et al.* (1991) hay una aparente correspondencia entre los índices o factores del WAIS-III y los factores de la teoría de Cattell-Horn. Así, el factor de Comprensión Verbal = G_c , el factor de Organización de la Percepción = G_f/G_v , el factor de Memoria de Trabajo = G_{sar} y, el factor de Velocidad de Procesamiento = G_s .

Siguiendo a Flanagan, McGrew y Ortiz (2000) resumiremos que los estudios de análisis factorial extraen un **factor verbal** en el que cargan los subtests de información, comprensión, vocabulario y semejanzas. Desde el marco de la teoría de la G_f - G_c , ésta medida compuesta por los subtests mencionados proveerá de una buena estimación para la capacidad amplia de inteligencia cristalizada subyacente, ya que cada tests mide cualitativamente diferentes aspectos que representan al constructo de la G_c , el cual, de hecho, está bien representado en las escalas verbales del WAIS.

Un factor de Memoria de Trabajo en el que cargan los subtests de aritmética y dígitos. El test de dígitos mide una aptitud de generalidad reducida (*Memory-Span-MS*) subsumida en la capacidad amplia del estrato II de Memoria a corto plazo (G_{sm}) y el test de aritmética mide una capacidad reducida (estrato I) (*conocimientos matemáticos -A-3*) subsumida en el razonamiento cuantitativo (G_q). Los autores

Flanagan *et al.* (2000) señalan que éstos tests no miden adecuadamente las diferencias cualitativas de los constructos de generalidad amplia subyacentes, de manera que los constructos de capacidad amplia de razonamiento cuantitativo (Gq) y el Gsm estarían subrepresentados y no se medirían de manera adecuada por el WAIS.

En el **factor de organización perceptual**, en el que cargan en factor *g* los subtests de cubos y figuras incompletas, la interpretación es menos complicada, ya que para estos autores este factor es una medida pura compuesta de la capacidad amplia de procesamiento visual (Gv), más que de CIM. Para algunos investigadores los subtests asociados al factor OP miden solo Gv, más que inteligencia fluida (Flanagan, McGrew *et al.*, 2000).

Mención especial merece el test no verbal de Cubos Kohs (Kohs, 1923) que mide razonamiento inductivo y deductivo y, carga en un factor de segundo orden de procesamiento visuoespacial (Gv) (Cattell, 1971; Snow, Kyllonen y Marshalek, 1984, citados por Rozenchwajg y Corroyer, 2002). Cubos de kohs está considerado como una de las mejores medidas del constructo de la inteligencia general (Royer, 1984, p 1474). En el análisis de los procesos cognitivos subyacentes a cubos se concluye que es una medida robusta de la inteligencia porque requiere *la capacidad de un sujeto para seleccionar las funciones utilizadas para abordar un problema particular y coordinar la ejecución de aquellas funciones que son seleccionadas* (Hunt, 1980, p 457, citado por Rozenchwajg *et al.*, 2002).

Finalmente, un cuarto **factor de velocidad del procesamiento** en el que carga el subtest de clave de números. La versión del WAIS-III ha incluido también el subtest de búsqueda de símbolos.

IV. EL REDUCCIONISMO EN EL ESTUDIO DE LA INTELIGENCIA: DE LA APROXIMACIÓN COGNITIVA A LA APROXIMACIÓN BIOLÓGICA.

La aproximación al estudio de la inteligencia llamada reduccionismo tiene como objetivo teórico la explicación de un fenómeno complejo en términos simples o desde los más elementales procesos o fenómenos biológicos. La idea del reduccionismo se empezó ya a vislumbrar en los filósofos presocráticos (Nagel, 1998), se basa en la visión de que la ciencia es unitaria y que la física es la más fundamental de las ciencias (Rose, 1998).

En la **figura 4.1.** presentamos el esquema del reduccionismo en el estudio de la inteligencia humana. En la aproximación psicométrica, el análisis factorial si bien ha resultado ser útil para revelar los factores de la estructura de la inteligencia, no puede ofrecer una explicación de su naturaleza. En líneas generales, la aproximación reduccionista de las diferencias individuales investiga los procesos y los mecanismos subyacentes a la inteligencia psicométrica, cuyos estudios se presentan contenidos dentro de dos amplios grupos: **1)** la aproximación cognitiva, y **2)** la aproximación biológica. Señalan Deary y Caryl (1997) y Sternberg (1994) que ambas, aunque difieren en sus metodologías y asunciones, no están en contradicción, sino que se complementan y superponen, ya que presentan dependencia la una de la otra para la explicación de sus resultados. Puesto que, en principio, se ha sugerido que pueden interpretarse resultados biológicos en términos cognitivos y viceversa. Esto es, los procesos biológicos actuarían sobre la cognición o que ésta controlaría los procesos biológicos, como el resultado de una continua interacción entre los dos niveles de procesamiento.

(1) El reduccionismo cognitivo: Esta aproximación cognitiva incluye las investigaciones sobre el estudio de las asociaciones entre la inteligencia psicométrica y los parámetros de varios paradigmas de los TR y los procedimientos psicofisiológicos, que están contenidas dentro de dos sub-aproximaciones o enfoques: el enfoque de los **correlatos cognitivos**, representado por Jensen (1982, 1985) y Vernon (1983, 1985, 1987) quienes conceptualizan la inteligencia en términos de la *velocidad* del procesamiento de la información y sus trabajos se centran en el estudio de las diferencias individuales (variabilidad) en los procesos de la información simples, y el enfoque de los **componentes cognitivos**, representado por Sternberg (1985) en el que se sigue una estrategia experimental-psicofisiológica para el descubrimiento de los componentes cognitivos fundamentales que pueden explicar la variación en las puntuaciones de inteligencia (CI). Estos trabajos representan un intento de integrar el estudio de las diferencias individuales desde una aproximación experimental a los procesos de la información complejos.

(2) El reduccionismo biológico: La aproximación biológica está representada por Eysenck (1982, 1987), quien conceptualiza la inteligencia en los términos de la *eficiencia neural*. Según Jensen (1998), la aproximación biológica de la inteligencia

consiste esencialmente en la metodología de los correlatos biológicos, que consiste en buscar el establecimiento de relaciones entre variables conductuales o psicométricas (*i.e.*, CI) y variables biológicas (*i.e.*, nivel de metabolización de la glucosa cerebral). La magnitud de la asociación con la variable biológica está en función del grado en el que el test psicométrico sature en factor *g* y ha sido denominado el *efecto Jensen*.

El cuerpo de investigaciones del procesamiento de la información y las bases biológicas de la inteligencia humana es lo que Jensen (1998) llama *investigación vertical*. Siguiendo este esquema, en primer lugar, intentaremos exponer desde la aproximación cognitiva el papel del componente de velocidad del procesamiento de la información para el estudio de *g*.

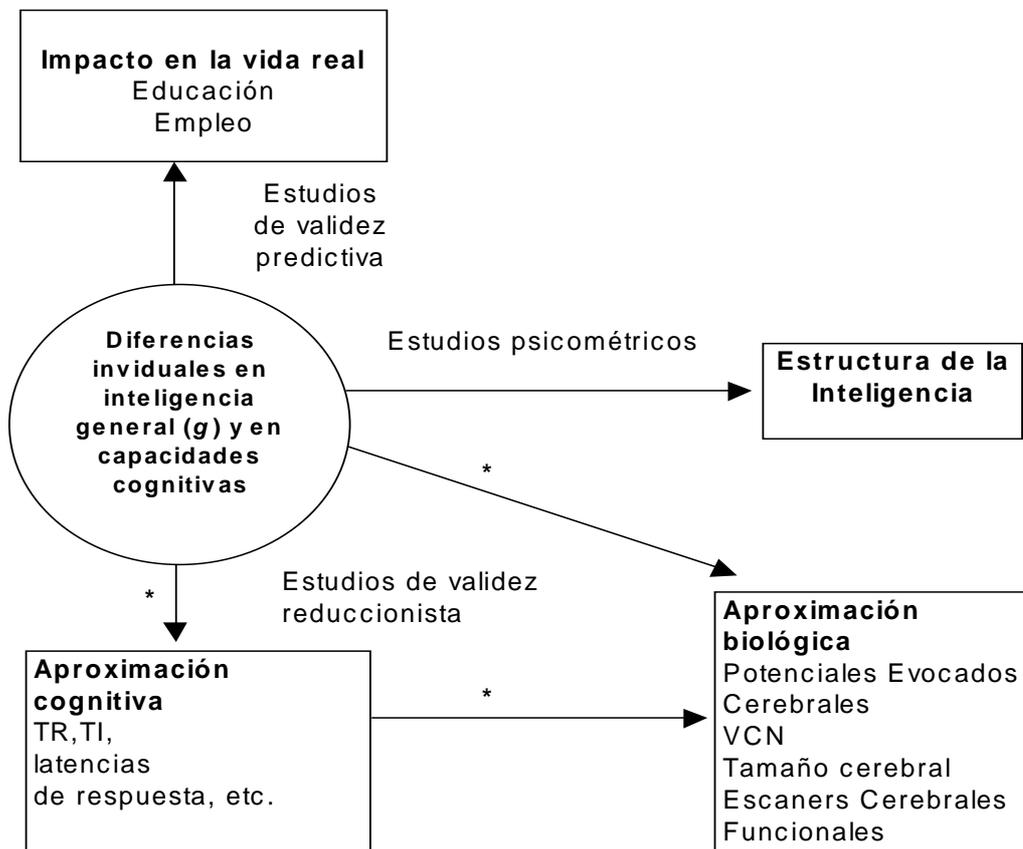


Figura 4.1.- Esquema de la aproximación reduccionista al estudio de la inteligencia. Adaptado de Deary y Caryl, 1997.

Uno de los objetivos de esta tesis es revisar, sin ánimo de ser exhaustivos, las principales medidas conductuales de velocidad de procesamiento tales como los índices de los tiempos de reacción y los tiempos de inspección para la medida de la **eficiencia de los procesos elementales**. Después revisaremos, desde la aproximación biológica, las principales investigaciones sobre las diferencias individuales en la **eficiencia de los procesos biológicos** que han sido realizadas con indicadores para la medida del constructo de la eficiencia neural como los potenciales evocados, el índice de metabolismo de la glucosa y nos centraremos en el índice de la velocidad de conducción nerviosa (VCN), ideado para la exploración de los mecanismos biológicos de la velocidad del procesamiento de la información. Dentro de esta aproximación también se incluyen los estudios de genética, tamaño cerebral y los estudios de neurobioquímica (Deary y Caryl, 1997). Finalizaremos con los datos sobre las recientes investigaciones de las bases neurales de *g*.

1. La velocidad del procesamiento de la información en la aproximación cognitiva.

En este apartado introduciremos el concepto de la velocidad del procesamiento de la información como medida de la capacidad cognitiva general.

La psicología cognitiva concibe la mente humana como un particular sistema de procesamiento de la información que está basado en la idea de que los procesos mentales cursan en un tiempo determinado. La medición del tiempo¹ (velocidad) de los procesos mentales por el organismo, mediante las medidas cronométricas, adquirió un papel relevante en el fundamento de la psicología como ciencia empírica, tradicionalmente polarizada en las dos disciplinas (diferencial y experimental) de la psicología cognitiva del PI. Aunque, si bien la utilización de medidas cronométricas y la consideración de diferencias individuales conjuntamente representa el punto de convergencia entre ellas, los propósitos en la aplicación de las medidas de velocidad del PI, como los tiempos de reacción (TR) al estudio de la inteligencia, fueron bastante diferentes (Jensen, 1985).

Así en la tradición experimental heredada de Wundt, el TR es utilizado como variable dependiente para la medida del tiempo necesario para determinados procesos cognitivos mientras que en la tradición de Galton o desde la perspectiva

1

Señala Jensen (1998) que el tiempo es la escala utilizada para la medida de las diferencias individuales en la velocidad o eficiencia del PI, porque el tiempo está medido (en milisegundos) en una escala absoluta de medidas de unidad internacional, lo que tendría ventajas científicas y teóricas sobre las puntuaciones de los tests cognitivos psicométricos. Los aspectos básicos que caracterizan a las medias cronométricas son: escalas de razón, precisión y estabilidad, consistencia interna y amplitud del ámbito de aplicación.

diferencial/correlacional, los TR se consideran un factor determinante (latente) de las diferencias individuales de la capacidad mental.

Los orígenes del estudio de las diferencias individuales en *velocidad mental* y la posible dependencia de la velocidad de respuesta sobre los tiempos de conducción neural se sitúan en el primer registro empírico realizado por Bessel en el que encontró discrepancias por las mediciones realizadas con base a la observación de los errores en las ecuaciones personales, que hacían referencia a las diferencias en la anotación del tiempo del tránsito estelar por los diferentes astrónomos; lo que se estaba evaluando, de hecho, eran las diferencias o la variabilidad interindividual del TR simple o del tiempo que tardaban en tomar una decisión. Así, Galton (1883) se interesó por los TR como una medida fisiológica de la duración de los procesos neurales de la información por el cerebro, ya que consideraba a la inteligencia como una cualidad biológica.

En los estudios modernos, que parten de la perspectiva diferencialista, el constructo de la *velocidad mental* o velocidad del procesamiento de la información fue introducido principalmente para comprensión de las características cognitivas básicas del procesamiento de la información humano (Eysenck, 1987; Vernon, 1985, 1987). El término *velocidad mental* se restringe al uso de medidas diseñadas (*i.e.*, los TR) para valorar la velocidad con la que se ejecutan las tareas computacionales básicas del PI; la velocidad de procesamiento es concebida como el reflejo de la rapidez con la cual la información es procesada por el cerebro (Bates *et al.*, 2004).

Aunque, según (Acton y Schroeder, 2001) en la posición de Spearman y Galton se propone el mecanismo de la discriminación sensorial para las explicación de las bases de *g*, ya que, teóricamente, la discriminación sensorial es vista como la forma simplificada de la operación mental que es claramente intelectual. Por otra parte, la visión de J. McK. Cattell (1890) sugiere un mecanismo diferente para la explicación de *g* en el que sostiene que las bases elementales de la inteligencia están en la velocidad del PI, significando que la discriminación sensorial sería un mecanismo que subyacería a la velocidad de PI.

En esta última visión se fundamenta la hipótesis de la velocidad-eficiencia de la transmisión neural del PI, propuesta por Eysenck (1982) e investigada por Jensen (1982) y Deary *et al.* (1993) para poder explicar los resultados de los estudios de las relaciones entre las puntuaciones de inteligencia psicométrica (CI) y las medidas conductuales de velocidad del PI en tareas cognitivas elementales (TCE).

En este capítulo describiremos el uso de las TCE en el estudio de la inteligencia que parte, según Anderson (2001), de las siguientes asunciones: las TCE dependen para su ejecución de la coordinación y funcionamiento eficiente de las neuronas distribuidas en el cerebro; en la implicación de un gran número de genes en el desarrollo de la función cerebral, y finalmente en que la capacidad cognitiva general

(*g*) presentaría una moderada heredabilidad (Bouchard, *et al.*, 1990; Plomin, Hill *et al.*, 2001). Las reacciones típicas al uso de TCE en los TR se centran fundamentalmente en que estas tareas son demasiado simples para la medida de un fenómeno tan complejo como el de la inteligencia, aunque la hipótesis de la velocidad del PI se ha venido probando y ha sido imposible de refutar (Jensen, 1998).

En lo que queda de capítulo desarrollaremos los aspectos que hemos introducido sobre el papel del componente de la velocidad del PI en el estudio de *g*. Aprovecharemos para aclarar algunas de las cuestiones en torno al concepto de *velocidad mental*, ya que el problema radica en el significado teórico del mismo (Deary, 2000b; Wolski *et al.*, 1996). Deary (2000b) señala que dicho término se ha venido aplicando para un diverso rango de tareas desde los diferentes niveles de análisis (psicométrico, cognitivo y biológico), por lo que resulta perjudicial cuando ha de ser utilizado como un constructo explicatorio. Por su parte, Jensen (1998) también aclara que no es el mismo concepto de *velocidad* el que hace referencia a la velocidad psicométrica medida por un test psicométrico (*i.e.*, claves del WAIS) que la velocidad del procesamiento medida por los TR. La explicación para esta paradoja es que la velocidad del PI es una parte intrínseca de *g* y la velocidad psicométrica no lo es, sino que se trata más de un factor de personalidad que de un factor cognitivo (Jensen, 1998, p:224). Este tipo de velocidad psicométrica es considerada esencialmente como un atributo perceptual motor desde la aproximación psicométrica (Vigneau *et al.*, 2002).

Desde la aproximación cognitiva, Wolski y Necka (1996) señalan que las correlaciones TR-CI son interpretadas necesariamente en términos de la *velocidad mental* para el PI, mientras que la velocidad de la transmisión neural es vista como un importante prerequisite de los *cerebros inteligentes* y está conceptualizada en términos de la *eficiencia neural*.

Para finalizar, otra de las cuestiones que permanece todavía sin ser explicada es la relación entre la velocidad de procesamiento de la información y la velocidad de procesamiento neural (la velocidad con que los impulsos nerviosos son transmitidos a través de las sinapsis). Las investigaciones en fisiología cerebral aún no han podido identificar los determinantes biológicos de la velocidad de procesamiento, ni tampoco ha podido articularse una teoría que integre los resultados de los estudios a los que nos referimos. Jensen (1998) sugiere que: *... para la explicación de g se requiere descubrir las características de sistema nervioso que están asociadas con la eficiencia de los procesos neurales de la información por el organismo, y en particular las que causan la covariación positiva de todas las capacidades cognitivas en torno a g*. Por otra parte, los estudios de Diamond *et al.* (1976) también señalaron que un ambiente enriquecido determina un mayor

desarrollo de las conexiones neurales del cerebro. En la actualidad, con la investigación del genoma humano se espera proseguir en el esclarecimiento de la naturaleza de g (Jensen, 1998).

1.1. El Procesamiento Simple de la Información vs PI Complejo.

Las investigaciones psicométricas y experimentales de la inteligencia, basadas en el psicología cognitiva del PI, aunque parten de presupuestos comunes, proponen explicaciones diferentes para la naturaleza de la inteligencia y utilizan distintos niveles de procesamiento de la información en los que se sitúan para abordar el estudio de g . Brevemente, para una mayor comprensión, vamos resumir los presupuestos teóricos de los que parten, el tipo de tareas utilizadas en los paradigmas de procesamiento (simple y complejo), y el papel que le conceden la velocidad de procesamiento.

Nos situaremos esquemáticamente en los distintos niveles de estudio del g psicométrico que es abordado dentro de un *continuum* de nivel de procesamiento que va del más inferior o elemental, donde se estudia la implicación de los procesos neurales básicos, pasando por el estudio a nivel intermedio de los procesos cognitivos asociativos (*i.e.*, memoria de trabajo), hasta los niveles más altos o superiores de procesamiento (*i.e.*, procesos cognitivos complejos) (**ver figura 4.2.**).

Dentro del *continuum*, en el extremo de la simplicidad, en el enfoque del procesamiento simple tenemos las teorías de Jensen (1982; 1998) y Eysenck (1986, 1993), que proponen entender la inteligencia en los términos de la velocidad de procesamiento neural, operando a nivel de los procesos elementales y, en el extremo de la complejidad, en el enfoque de los componentes cognitivos encontramos las teorías de Sternberg (1985) que proponen entender la inteligencia en términos de los *ejecutivos centrales*, operando a altos niveles del procesamiento de la información.

Desde este paradigma -señala Jensen (1998)- se sigue una interpretación *top-down* del PI que establece la existencia de altos niveles de procesamiento que obviamente se requieren para la solución de problemas complejos. Pero aquí, el énfasis no está en la velocidad del PI sino en constructos más complejos como los ejecutivos centrales, los recursos atencionales o las estrategias cognitivas. Desde esta perspectiva, el factor g refleja las diferencias individuales en los *metacomponentes* o en las funciones ejecutivas (Rabbitt, 1996).

Por lo tanto, el *locus* causal de las diferencias individuales, tanto en los TR como en g , está en explicar la inteligencia desde los procesos superiores que afectarían a los niveles básicos del PI, manifestados en variables de procesamiento elemental como los TR.

La psicología cognitiva postula una variedad de diferentes procesos implicados en el estudio de las diferencias individuales en el rendimiento de las tareas cognitivas. El objetivo común de ambos paradigmas del PI (simple y complejo) es el de identificar los procesos cognitivos elementales subyacentes al estudio empírico de la memoria, el razonamiento, la atención, el aprendizaje etc. identificados por las dimensiones o factores de inteligencia psicométrica (G_f , G_v , etc). Los procesos cognitivos elementales (ECP, *Elementary Cognitive Processes*) son procesos tales como: la aprehensión del estímulo, codificación, la discriminación, elección y recuperación de la información desde la MCP y desde la MLP, y también incluyen la transformación de la información en la memoria de trabajo (Jensen, 1998).

Desde el procesamiento complejo se pone mucho énfasis en la formulación y contrastación de los modelos del PI para estudiar los procesos cognitivos subyacente a la ejecución de las tareas cognitivas experimentales análogas a los test psicométricos. Así, el *continuum* del PI también se distingue por el uso de las tareas simples de identificación de los procesos cognitivos en paradigmas simples (*i.e.*, Hick) hasta la resolución de tareas complejas en paradigmas complejos (*i.e.*, el paradigma búsqueda de memoria de Sternberg, el de emparejamiento de letras de Posner), las cuales demandan el uso diferentes procesos en su ejecución.

Según Melis, Boxtel *et al.* (1999), la complejidad del *continuum* es la esencia de la teoría postulada en el modelo radex (Guttman, 1954; Guttman y Levy, 1991, citados por Carlstedt *et al.*, 2000). Dicha teoría hipotetiza que los componentes (operaciones o subsistemas del PI) requeridos para ejecutar una tarea son la clave para el conocimiento de la correlación entre dicha tarea y g (Marshalek, Lohman y Snow, 1983), ya que el grado de complejidad de una tarea determina la cantidad de g implicada en la misma. Éstos modelos han sido criticados por ser excesivamente complejos.

La teoría triárquica de Sternberg (1985) distingue tres niveles de inteligencia: los componentes del tratamiento de la información; la relativa novedad de las tareas en las que se aplican los componentes, y el contexto en las que son utilizadas. El método para estudiar la inteligencia está basado en el análisis componencial que consta de dos partes: la primera parte consiste en aislar los componentes y las estrategias implicados en la resolución de las tareas cognitivas y; la segunda en correlacionar los componentes con los tests psicométricos. La teoría componencial (Sternberg, 1985) propone una estructura jerárquica (comparable a la estructura factorial jerárquica de la inteligencia) de los componentes de los procesos con tres niveles de generalidad, especificando el orden y reglas de ejecución de los componentes implicados en la realización de una tarea. Se proponen observar el rendimiento en tareas complejas, mediante el diseño de paradigmas experimentales, para comparar los efectos de las demandas de distintas tareas sobre la medida de

los TR y deducir desde ellos la relativa duración de los procesos que se asumen como funcionalmente independientes y soportados por procesos neurofisiológicos diferentes, estableciendo que g es atribuible a un número de procesos múltiples e independientes (Rabbitt, 1996).

En consecuencia, las diferencias individuales en g se explicarían por los efectos de duración temporal en algunos subprocessos (componentes o subsistemas) más que en otros e interpretan que las diferencias individuales en la velocidad del PI pueden ser *locales* o de dominio específico, en el sentido de que afectan más a unos subprocessos que a otros en función de la demanda de las tareas (Rabbitt, 1996). Desde este enfoque, suponen que todos los procesos están correlacionados relativamente por la complejidad de la tarea, ya que cuanto más compleja sea ésta se requerirá un mayor número de procesos implicados en su ejecución. La complejidad de los procesos se mide en latencias de respuesta o los TR y se desarrolló una metodología, que deriva de los primeros estudios realizados con el método de sustracción de Donders o el factor aditivo de Sternberg, para descomponer los TR globales en subpartes correspondientes a los diferentes estadios o componentes del PI

Desde el paradigma de procesamiento simple de la información, las teorías subyacentes postulan que el g psicométrico sería el reflejo de un único proceso conceptualizado como la velocidad del procesamiento de la información que subyacería a todas las operaciones y procesos cognitivos/ procesos de información o procesos neurales implicados en el rendimiento cognitivo (Jensen, 1993c, 1998). Desde acuerdo con esta posición, las diferencias individuales en g reflejan diferencias en la velocidad del procesamiento global de la información (Rabbitt, 1996).

En ésta perspectiva se sugiere que el único proceso subyacente al razonamiento abstracto, es la velocidad de transmisión neural de la información. Ya que se postula que los procesos neurofisiológicos elementales, interpretados en términos de la eficiencia neural, son la base de los procesos superiores (Jensen, 1997, 1998). Derivado de ello se predice que los tests de alto nivel (razonamiento) pueden correlacionar con los test de bajo nivel (de velocidad de procesamiento).

La investigación de g se aborda mediante el uso de tareas cognitivas elementales en paradigmas de procesamiento simple dentro del marco de los modelos de la eficiencia neural (ver punto 2.2.2 de este capítulo).

La hipótesis del procesamiento unitario de g (Jensen, 1993c, 1998) postula que algunas características del SNC determinarían alguna parte de la variación de la velocidad del procesamiento elemental de la información. Desde éste enfoque -según Jensen (1993a, 1998)- se sigue una interpretación *bottom-up* del PI, la cual no niega la existencia de los ejecutivos centrales o de niveles superiores de procesamiento, pero el énfasis no lo sitúa aquí, sino que la explicación se realiza desde los niveles

más elementales, sugiriendo que hay diferencias individuales estables en los procesamientos neurales simples del SNC (*i.e.*, la velocidad de conducción nerviosa, los retrasos en la sinapsis, la eficiencia metabólica, etc.) que afectan a la velocidad del PI. En éste sentido, las propiedades del SN, que están implicadas en algún grado en todos los niveles del PI, determinarían el rendimiento en las tareas cognitivas causando que todas ellas estén positivamente relacionadas en el factor *g*.

Una de las cuestiones que lleva discutiéndose en la controversia en torno a la naturaleza de *g*, es si ésta es el resultado de un proceso unitario básico (la velocidad cognitiva general del PI) (Jensen 1982, 1998) o el resultado de múltiples e independientes procesos cognitivos elementales, según la hipótesis en competencia de Detterman (1986). En estos estudios se plantean sí: ¿La existencia de un único factor *g* sería el reflejo también de la existencia de un único proceso psicológico o neurológico?. Las investigaciones encaminadas a responderlas se centran, en primer lugar, en intentar determinar si las tareas cognitivas elementales (TCE) están intercorrelacionadas entre sí y, en segundo lugar, si hay un factor general de *velocidad cognitiva* subyacente a todas las operaciones y procesos que explicaría por el solo la mayor parte de la varianza entre las diferentes TCE (ver apartado 1.2. del cap.4).

Los resultados de los estudios de Kranzler y Jensen (1991, 1993) no dan soporte para la teoría del procesamiento psicológico unitario de *g*. Sin embargo, las altas correlaciones observadas en procesos conceptualmente distintos (*i.e.*, memoria, velocidad de procesamiento) medidos por las TCE (se incluyen en el estudio una batería diversos tests entre ellos: los TR, los TI, tareas de búsqueda de memoria y búsqueda visual etc.) les harían suponer que indicaría la presencia de diferencias individuales en algún nivel de procesamiento neurológico común. Es decir, a los procesos cognitivos les subyacería un proceso unitario neurológico que marcaría la velocidad y eficiencia en todos ellos. En su discusión señalan que es necesario determinar y precisar el número y la naturaleza de la varianza de los componentes. En posteriores investigaciones, Luo y Petrill (1999) hallan que en adición al componente general de velocidad del PI, un componente de procesamiento de memoria, de naturaleza no cronométrica, contribuye sustancialmente a la explicación de *g*.

Terminaremos esta exposición con un estudio de Demetriou, Cristou *et al.* (2002), efectuado mediante el modelo de la ecuación estructural, en el que indican que las dimensiones estudiadas están intercorrelacionadas de tal manera que la dimensión más fundamental es parte de las dimensiones más complejas: la velocidad del procesamiento de la información es el aspecto más importante de la eficiencia del procesamiento; ésta a su vez está estrechamente relacionada con la condición de

los procesos ejecutivos en la memoria de trabajo, y finalmente la resolución de problemas está relacionada con la eficiencia en el procesamiento, con la memoria de trabajo y con los ejecutivos centrales. En relación a las funciones ejecutivas, Crinella (2000) conjetura que, consecuentemente, g puede reflejar: la energía neural que está presente en algún número de múltiples sistemas del PI necesarios para la resolución de problemas complejos; la suma total de los componentes del PI disponibles para ejecutar la computación requerida en la resolución de problemas de los test psicométricos; o reflejar una diferencia en la densidad o interconectividad dentro del sistema del ejecutivo central proporcionando más poder para regular otros componentes.

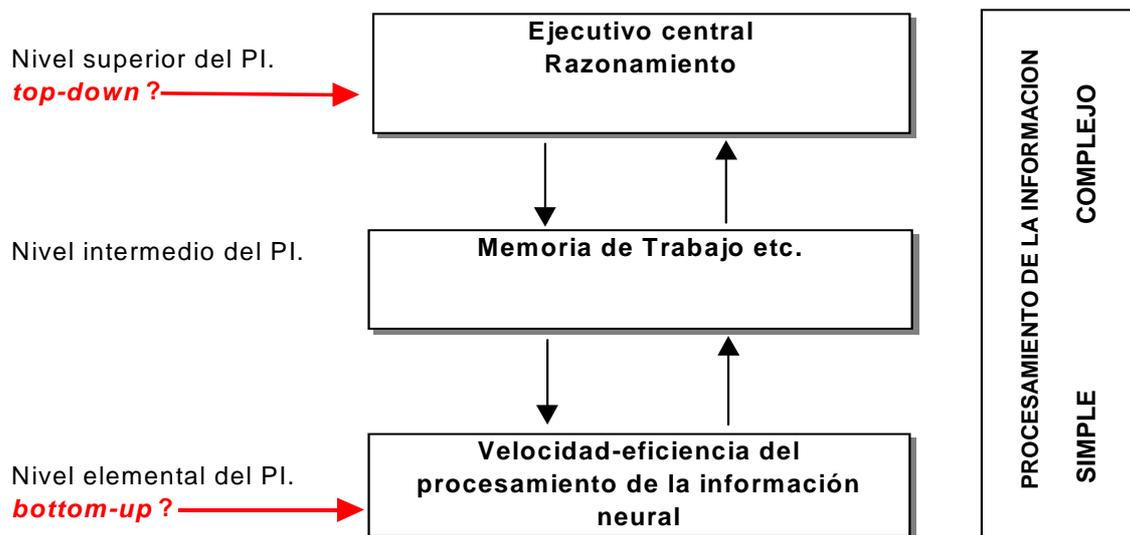


Figura 4. 2. - Niveles de estudio y explicación de la inteligencia en el modelo del Procesamiento de la Información.

1.2. Las medidas conductuales de velocidad de procesamiento de la información y g .

Para la medida de las diferencias individuales en el *tiempo* o la velocidad de respuesta (reflejo del componente g) de los procesos cognitivos elementales fueron diseñadas las tareas cognitivas elementales (TCE), bajo el supuesto que las mejores

medidas de g han de ser de naturaleza no cognitiva (Eysenck, 1982). Se trata de tareas simples para la evaluación de los procesos sensoriales en las que se emplean estímulos como flashes de luz o tonos breves. En definitiva, con este tipo de tareas se trata de reducir al mínimo la varianza atribuida a los aprendizajes específicos, contenidos de la información, destrezas y estrategias para la resolución de problemas (Jensen, 1998, 1993c). Una tarea cognitiva elemental típica consiste en varias formas de TR simple², de TR de elección y de tiempo de inspección.

Los intentos para medir la diferencias individuales en inteligencia se relacionan con el desarrollo de las nuevas tecnologías cronométricas (denominada *cronometría mental*, Posner, 1978) de la psicología experimental para el estudio moderno de las relaciones entre la velocidad de PI y g , surgido a partir de 1970. Tradicionalmente hay dos amplias líneas de investigación: **(1)** el paradigma de los TR, y **(2)** el paradigma de los tiempos de inspección (TI).

(1) En este paradigma, los TR son considerados como una medida de velocidad del PI que por definición es el tiempo necesario para poder ser definida una cantidad de información para ser procesada (Eysenck, 1986). El TR por *si mismo* intenta describir los procesos psicológicos o neurológicos que median entre un estímulo y la respuesta (Jensen, 1993a, 1993b, 1995)³, aunque se consideraba que los TR eran una medida demasiado molar para el estudio de los tiempos cerebrales de respuesta.

Es por lo que se procedió técnicamente a la descomposición de los TR totales en el intervalo sensorio-motor que comprende: el tiempo de decisión (TD) (con referencia al tiempo central implicado en tomar una decisión) y, en el tiempo de movimiento (TM) (con referencia al tiempo desde que el sujeto toma la decisión hasta que ejecuta motormente la respuesta). Con este procedimiento de aislar los TR en TD y TM se pretendía reducir al mínimo los efectos del TM sobre la velocidad de procesamiento neural; y se diseñó la conocida consola de Jensen-Munro (1979) para realizar la medida del TR (o tiempo de decisión).

El paradigma que estudia la inteligencia desde el PI simple utilizando los TR está

2

Señala Jensen (1998) que el *tiempo cerebral* es el componente principal de la secuencia de los TR simples. Situándose la respuesta de TR simple humano en torno de los 150-200 ms. El TR simple presenta tres componentes significativos de tiempo de procesamiento: dos periféricos (1) incluye el recepción sensorial y el tiempo de transducción sensorial de la información desde los órganos sensoriales por la fibras nerviosas eferentes al cerebro (2) comprende el tiempo de los impulsos nerviosos eferentes desde el cerebro hacia los músculos y la recepción muscular incluido el tiempo de respuesta ejecutora; y el tiempo central que corresponde al tiempo de procesamiento cerebral o al tiempo de la conducción nerviosa de la información al SNC vía aferente, y es el utilizado para realizar la aprehensión del estímulo.

3

Véase los modelos matemáticos que intentan describir los procesos subyacentes a los TR en Jensen (1985).

basado en la ley de Hick (1952). Dicha ley se reformuló con la finalidad de ubicar la relación TR/incertidumbre en el marco de la teoría matemática de la información (Shannon y Weaver, 1948) aplicada en psicología para el estudio de la capacidad del ser humano para procesar la información⁴, planteando que los TR están linealmente relacionados con la cantidad de información requerida para ejecutar una tarea.

Así, el estudio del efecto de la variación del número de alternativas de respuesta en los TR de elección se realizó en términos del número de bits de la información representados en un estímulo y en términos de la ley de Hick. No vamos a desarrollar el paradigma de Hick, que ha sido estudiado exhaustivamente por Jensen⁵ (1987) quien pretendía analizar en función de la inteligencia (CI) de los sujetos las diferencias individuales mediante los incrementos de las demandas de procesamiento o alternativas que corresponden a los bits de información.

Los resultados de sus estudios mostraban que la correlación entre las puntuaciones de CI y los TR de decisión se incrementaba en función del número de alternativas de elección de respuesta (mayor incertidumbre), siendo ello consistente con la *hipótesis de la complejidad*, la cual predice que la magnitud de la correlación con g está positivamente asociada con el nivel de complejidad de la tarea implicada, aunque esta relación no es infinita (Vernon y Jensen, 1984; Neubauer, 1995). De manera que el TR complejo o de elección constituye una mejor estimación de la inteligencia (Jensen, 1987).

Tampoco vamos a hacer una revisión de la literatura de la velocidad del procesamiento de la información, ya que no constituye nuestro objetivo. Mencionaremos que existen numerosos trabajos, que además ya han sido revisados, que han intentado relacionar los parámetros derivados de la ecuación de la ley de Hick en los TR (*i.e.*, mediana de los TR, variabilidad intraindividual, interceptación y la pendiente) con el CI. En el análisis de las relaciones entre los TR y la inteligencia existen varias interpretaciones acerca del significado de los parámetros de Hick. Uno de los más importantes es la pendiente de regresión que es considerada como un índice de velocidad de procesamiento de los bits de información que reflejaría procesos puramente centrales (Jensen, 1987).

Los resultados de los estudios mostraban que, a un mayor número de alternativas o de demandas de procesamiento, los sujetos con CI más elevados

4

La *información* se refiere a cualquier estímulo que reduce la incertidumbre en el sujeto, que vendría motivada por el desconocimiento del estímulo y el momento exacto en el que se presenta y, es medida en bits (*binary digits*). Un *bit* es la cantidad de información que reduce la incertidumbre a la mitad.

5

Véase Jensen (1987).

presentaban menos incremento en los TD, evidenciado por una inclinación menor de la pendiente. Sin embargo, autores como Widaman y Carlson (1989) deducen que la correlación entre el CI y la pendiente de los TR, como una función del número de alternativas, puede ser un artefacto ya que la relación podría darse por el efecto de la práctica sobre el decrecimiento de los TR. Así, la valoración de la velocidad por la medida de la pendiente resulta ambigua porque puede deberse al aprendizaje (Deary, 2000a).

Generalmente es aceptado que existe una correlación negativa entre los TR de las TCE y las puntuaciones de CI situada en un rango de -0.20 a -0.30 (Jensen y Sinha, 1993; Jensen, 1998). La correlación entre los TR y el CI aunque es importante, no puede explicar las bases causales de tales relaciones, y además es difícil evidenciar técnicamente por qué correlacionan ambos. Entonces nos preguntamos: ¿Por qué correlacionan los TR con la inteligencia? ¿Qué es lo que media en estas intrínsecas relaciones?. El mismo Jensen (1987) admite que en las tareas de los TR, las variables como las estrategias cognitivas (los sujetos más inteligentes aplican estrategias más eficientes o encuentran métodos más rápidos en la resolución de las tareas cognitivas), la velocidad-precisión (presentan una correlación inversa), el arousal cerebral, la memoria de trabajo etc., tienen un papel importante en la explicación de las diferencias individuales en la ejecución de las TCE.

En la literatura revisada se apuntan varias posibles claves para explicar la correlación entre las puntuaciones de inteligencia (CI) y los TR como la que ya mencionamos, en referencia a los efectos de la práctica (el efecto aumenta con la complejidad de la tarea) en el paradigma de Hick sobre el decrecimiento de los TR (Widaman *et al.*, 1989). Las implicaciones teóricas de los efectos de la complejidad de la tarea en relaciones TR-CI no están todavía clarificadas. Una posible explicación es que las correlaciones reflejan influencias *top-down* (como las estrategias atencionales) sobre la velocidad más que el efecto *bottom-up* de las propiedades de la velocidad de transmisión en la inteligencia (Larson y Sacuzzo, 1989, citado por Vigneau *et al.*, 2002; Larson *et al.* 1994).

(2) Otro de los índices conductuales para la medida de la velocidad del procesamiento simple (Deary, 2000b) son los tiempos de inspección (TI) en la determinación de umbrales sensoriales (**figura 4.3.**). El TI es determinado por el tiempo mínimo de aprehensión perceptiva del estímulo en la realización correcta de la tarea de discriminación. El TI es considerado como un indicador de velocidad de procesamiento del input estimular (un índice perceptual) (Nettelbeck *et al.*, 1987). Según Vigil (1991) éste indicador se fundamenta en el modelo de discriminación perceptiva de Vickers (1986) y se supone que los procesos de transferencia de la

señal o *input* de los registros sensoriales a la MCP conjuntamente con los de decisión son los procesos subyacentes a los TI. Para más información Levy (1992) realizó un análisis de la naturaleza del TI, y también puede consultarse una extensa revisión realizada por Deary y Stough (1996).

Existen un gran numero de investigaciones que, de manera general, hallan correlaciones significativas negativas entre la inteligencia psicométrica (CI) y los TI cortos que oscilarían en un rango de -0.30 a -0.54 (Nettelbeck

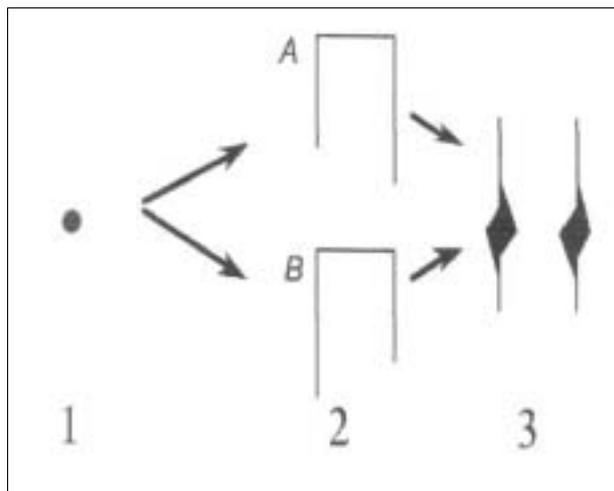


Fig.4.3.- Esquema de la tarea de TI. El marco de fijación (1). Los estímulos A y B (2) presentan dos líneas verticales adyacentes de diferente longitud seguidas de un estímulo máscara (3) para destruir la imagen visual en la memoria icónica. La tarea consiste en decidir cuál de la líneas es la más corta. Tomado de Bates y Rock (2004).

et al., 1987; Kranzler y Jensen 1989) y, especialmente relacionado con el CI de las escalas manipulativas (Deary y Caryl, 1997, Deary, 2000b). La ubicua correlación hallada entre ambos indicadores (los TI y los TR) ha sido interpretada como que esas dos tareas evidencian ser medidas equivalentes de un único proceso subyacente de velocidad del PI (Kranzler y Jensen, 1991). De un modo parecido, encontraron que los TI se correlacionaban con los parámetros fisiológicos de los potenciales evocados colocados en los sujetos mientras ejecutaban las tareas discriminativas de los TI e interpretaron que estas relaciones pueden venir determinadas por un factor general de eficiencia subyacente (Caryl, 1994, citado por Deary, 2000 b); éstos resultados fueron confirmados por Vigil, Ferrando y Andrés (1993).

Sin embargo, a pesar de la consistencia en la relación entre los TI y la inteligencia psicométrica (CI), estos estudios no se presentan del todo homogéneos. Las críticas vienen por la metodología (Irwin, 1984, citado por Mackintosh, 1998), básicamente centrada en las tareas visuales de los TI consideradas de validez superficial, ya que el indicador TI presenta dificultad de generalizar su validez a otras modalidades sensoriales. Lo que ha sugerido que el TI fuera un índice específico del sistema visual, y/o un indicador de factor de velocidad perceptual más que de *g* (Mackintosh y Bennet, 2002). Mackenzie y Bingham (1985) observaron que los sujetos en muchos casos utilizaban el movimiento aparente del estímulo como estrategia perceptiva de respuesta, mientras que otros sujetos no; y observaron que la correlación del TI con el CI sólo se daba en los sujetos que no utilizaban ésta

estrategia. En un estudio Bors, Stokes *et al.*(1999) hallaron que los efectos de la práctica, las estrategias y la atención contribuyen a explicar la correlación entre el CI y los TI. Es por lo que sugieren que otros procesos, quizás relacionados con la velocidad del PI, explicarían las diferencias individuales en los TI. Por lo tanto, la aparentemente simple tarea del TI implicaría modos complejos de procesar la información (Chaiken, 1993;1994) que todavía no se comprenden bien (Neisser *et al.* 1996). Los recientes estudios farmacológicos indican que el TI está mediatizado por el sistema neural nicotínico acetilcolinérgico (Stough, Thompson, Bates *et al.*, 2001), el cual también mediatiza la eficiencia de la redes de la memoria de trabajo (Furey *et al.*, 2000). Así, según Gray y Thompson (2004), una nueva hipótesis para explicar las correlaciones TI-CI postula la implicación de la memoria de trabajo en la realización de representaciones perceptuales más eficientes.

En resumen, las diferencias en TI serían adjudicadas a las variables como las que hemos mencionado y también a la motivación, la ansiedad o la personalidad (extraversión-introversión) que han sido hipotetizados como los factores subyacentes que explicarían o modularían la asociación TI-CI más que los aspectos perceptuales de los TI (Howe, 1988, citado por Deary, 2000b). Es por lo que se considera al TI como un indicador problemático para la medida del constructo *g* (Deary, 2000 a).

Recientemente, Draycott y Kline (1994) utilizaron otro índice de velocidad de procesamiento simple denominado BIP (Unidad básica del Procesamiento de la Información). Se trata de una medida relacionada con la capacidad máxima del almacén de memoria a corto plazo en la que se debe realizar una tarea simple de memoria. Los resultados muestran el BIP correlaciona altamente con los tests saturados en *g* cristalizado y no con los tests de *g* fluido; éste resultado fue replicado por Vigil *et al.* (1997) quién argumenta que algunas medidas de velocidad del PI simple pueden estar más relacionadas con la *Gc* porque presentan cierta especificidad que puede ser debida al hecho de que se empleen tareas de memoria y ésta ha sido relacionada con la capacidad verbal (Hunt, Lunnenborg y Lewis, 1975). Concluye que las medidas de velocidad del PI como el BIP pueden ser mejores predictores de los aprendizajes escolares y, por lo tanto, no son buenos indicadores de inteligencia biológica (Vigil *et al.*, 1997).

Finalizaremos con una breve revisión efectuada por Jayme (1995) de los pocos estudios que han informado de diferencias de sexo en los TR. La tendencia general de los estudios es que los hombres son más rápidos que las mujeres en los TR simples y los resultados con los TR de elección no son consistentes. Supuestamente subyacente a los TR está la teoría de la eficiencia neural, lo cual ha sugerido diferencias de sexo en el sistema nervioso.

Así, los trabajos realizados por Landauer *et al.*, 1981, citados por Jayme (1995)

proceden a descomponer el TR en los TD y los TM. No hallaron diferencias significativas en el TR total entre sexos, aunque las mujeres fueron significativamente más rápidas en el TD y los hombres en el TM. Más tarde, Ja-Song y Lynn (1992), en una muestra formada por niñas y niños, correlacionaron las medidas de inteligencia fluida (AMP) con los TD pero no con los TM y hallaron diferencias significativas en los TM a favor de los hombres, en cambio no hallaron diferencias significativas en los TD para ambos sexos. Estos resultados no replicaron los de Landauer *et al.*(1981), observando que únicamente los niños u hombres son más rápidos en los TM.

Resumiendo, la mayoría de los estudios muestran que los hombres presentan respuestas más rápidas en las medidas conductuales de los TR que las mujeres. Este resultado puede tener varias interpretaciones, entre ellas, se destacan las que se adjudican las diferencias a las estrategias de respuesta, así como a las diferencias debidas a factores de personalidad, motivación etc.

1.3. Interpretación y significado de las correlaciones entre los indicadores de velocidad del PI y *g*.

Durante las pasadas décadas, las investigaciones aportan resultados para una moderada correlación entre las latencias de respuesta de los TR en tareas simples y las puntuaciones de CI, que son interpretados como el reflejo de las diferencias individuales en la eficiencia del procesamiento neuronal de la información con la que ésta es transmitida a lo largo del sistema nervioso, con lo que darían soporte inferencial a la explicación fisiológica de la velocidad-eficiencia del PI (Eysenck, 1982; Jensen, 1982; Vernon, 1987, 1993). Esta hipótesis se fundamenta en la asunción de que los TR son indicadores próximos o de la velocidad de transmisión con la que el cerebro percibe e integra la información.

La hipótesis de la velocidad de conducción nerviosa fue propuesta por Reed y Jensen (1991, 1993a) para la explicación de la variabilidad de los TR, postulando que las personas pueden diferir en sus patrones de conectividad cortical cuando ejecutan una tarea de TR (Reed, 1998). Para la medida directa de la velocidad de conducción nerviosa, desarrollaron un índice que lleva el mismo nombre, aunque los resultados no muestran correlación entre los TR y el índice de la VCN mientras que ambos indicadores correlacionaban por separado con la inteligencia (CI)(Reed y Jensen, 1993a).

¿Las TCE de los TR son de naturaleza tan simple y proporcionan una medida directa del constructo de la velocidad-eficiencia neural?. ¿Son esencialmente procesos sensoriales los que suceden para las tareas de los TI y TR?. Señala Deary (2000) que los investigadores han utilizado para sus propósitos técnicas que ellos consideran

simples medidas (de naturaleza no cognitiva) del PI, basándose en la visión de que las tareas simples de los TR miden o reflejan una limitación temporal biológica del procesamiento básico del sistema nervioso, considerando que están midiendo el concepto de eficiencia neural adecuadamente. Sin embargo, las TCE no son tan simples como aparentan ser desde el punto de vista del PI elemental; ya que incluyen siempre y como mínimo dos operaciones distintas (detección y decisión) (Andrés, 1996). Además, la asociación vendría debilitada por los factores que actuarían de covariantes (*i.e.*, estrategias, práctica etc.) o lo mismo, que las correlaciones reflejan influencias *top-down* (de alto nivel) como la atención sobre la velocidad de rendimiento. Por lo que es difícil de entender y evidenciar el efecto de la inteligencia en las tareas de los TR. De manera que se concluye que los TR no pueden estar relacionados con la velocidad de transmisión neural de un modo simple (Caryl, 1991).

En resumen, señalaremos que a pesar de la consistencia de los resultados, el significado de las correlaciones observadas entre los TR en tareas simples y las puntuaciones de CI no ha sido todavía clarificado. En primer lugar, las investigaciones con las TCE y la fisiología cerebral aún no han podido identificar los determinantes biológicos de esta velocidad de procesamiento. En segundo lugar, la interpretación de los resultados resulta problemática, ya que los patrones de correlaciones observados no son tan simples como predice la hipótesis, puesto que no permiten concluir que la covariación sea debida enteramente a la variabilidad en los TR, en otras palabras, si es *esencialmente* el componente velocidad de procesamiento al que puede reducirse su explicación; ni tampoco se conoce la dirección causal que subyace a estas correlaciones, es decir, sigue abierta la cuestión sobre si sería una mayor eficiencia neural la que provocaría una inteligencia elevada, o al revés, que las personas más inteligentes utilizan métodos o estrategias más eficientes para resolver las tareas de los TR (Neisser *et al.*, 1996).

Para concluir indicaremos que a pesar de las correlaciones, no se tiene una interpretación teórica clara del patrón global de resultados entre las puntuaciones de CI y los indicadores de velocidad del PI (Neisser, 1996). De todas formas, los problemas inciden directamente sobre la validez de los indicadores del constructo de la eficiencia neural, por lo que resulta peligroso generalizar que todas las medidas cronométricas de velocidad de procesamiento simple son indicadores de inteligencia biológica, sino que estas medidas dependen de las características del indicador utilizado (Vigil *et al.*, 1997). De manera que se hace necesario utilizar índices lo más simples o fisiológicos como los derivados de los procedimientos de los potenciales evocados que desarrollaremos en el siguiente apartado.

2. Actividad cerebral, utilización de indicadores psicofisiológicos y su relación con *g* en la aproximación biológica.

Las investigaciones de las bases biológicas de la inteligencia se centran en el estudio de las relaciones de la función cerebral asociada a la actividad del córtex y se fundamentan en que la actividad cerebral es un reflejo de su metabolismo neural (bioquímica) y de su actividad eléctrica (electrofisiológica) en las transmisiones neurales de la información.

Históricamente, señala Jausovec (2001), los investigadores han adoptado dos métodos en el estudio de las relaciones entre las diferencias individuales en la actividad cerebral y la inteligencia psicométrica: **(1)** la actividad cerebral es observada en la resolución de problemas complejos en un largo periodo de tiempo y **(2)** la actividad cerebral provocada por un estímulo simple se observa en un ventana reducida de tiempo.

Los resultados comunes hallados desde la primera aproximación, en los que por ejemplo se utilizan técnicas bioquímicas para la medida del metabolismo de la glucosa cortical valorado mediante la TEP, hallan una asociación negativa entre actividad cerebral y la inteligencia (CI) que indicaría que los sujetos más inteligentes resuelven diferentes tareas mentales complejas (*i.e.*, el tetris) utilizando menos tasa de metabolismo cortical que los sujetos menos inteligentes (*i.e.*, Haier *et al.*, 1992; Chase *et al.*, 1984). Los resultados hallados desde ésta aproximación se explican desde la teoría de la eficiencia neural; significa que los sujetos más inteligentes se caracterizan por realizar un uso más eficiente de sus cerebros, gestionando y economizando los recursos energéticos y resolviendo con más rapidez las tareas complejas que los sujetos menos inteligentes. La idea subyacente es que la alta inteligencia esta asociada con sistemas neurales más rápidos y con un menor consumo de energía presumiblemente porque *solo usan un número limitado de circuitos cerebrales y/o pocas neuronas* (Haier *et al.*, 1992) en todas aquellas áreas del cerebro requeridas para el rendimiento en las tareas complejas.

Éstos resultados fueron confirmados dentro del dominio temporal por Neubauer *et al.* (1995, 2002) en el que investigó los patrones espacio-temporales de activación cortical en las tareas cognitivas elementales mediante el paradigma de los mapas de ERD (desincronización relacionada con un evento) en el EEG. Halló que los sujetos con CI altos (AMP) se caracterizaban por presentar una menor activación cortical global en comparación con los sujetos con CI bajos, en los que la activación cortical se incrementaba con el tiempo. Éstos resultados son interpretados como soporte a la hipótesis de la eficiencia neural, sugiriendo que ésta también se caracterizaría no solamente por consumir menos energía, sino también por la capacidad para focalizar los recursos corticales en todas aquellas áreas requeridas para ejecutar las tareas y,

al mismo tiempo, activar y desactivar otras áreas cerebrales (encontraron que la activación era menor en el córtex posterior, especialmente en las áreas parietales).

Similares resultados de soporte a la teoría de la eficiencia neural han sido observados utilizando otros indicadores como reflejo de las diferencias individuales en la actividad cortical como: el índice del pH cerebral (concentraciones de iones de H) (Rae *et al.*, 1996); el índice *del fluido regional cerebral* (rCBF) (Phelps, Mazziota *et al.*, 1982), donde los cambios observados en la oxigenación sanguínea pueden reflejar cambios en el fluido sanguíneo y en la actividad cerebral.

Desde la segunda aproximación señalada por Jausovec (2001), los métodos de evaluación psicofisiológicos se componen de una serie de técnicas para el registro de los potenciales bioeléctricos del organismo. La electroencefalografía (EEG) y la latencia de los potenciales evocados cerebrales (ERP) son medidas fisiológicas que se utilizan como indicadores del sistema nervioso central. Dado que en nuestro estudio hemos utilizado los ERP en el cálculo del indicador de la velocidad de conducción nerviosa (VCN) derivado de ellos, vamos a describir los ERP.

2.1. EEG y ERP.

La electroencefalografía (EEG) es una técnica utilizada para el registro de las variaciones de los potenciales bioeléctricos del cerebro mediante electrodos colocados en la superficie del cráneo. La frecuencia de la señal captada es generada por la actividad cerebral y consiste en una serie de oscilaciones (cambios de voltaje) que se definen de acuerdo con la frecuencia de las ondas que lo componen (Hz o ciclos por segundo). Así por ejemplo, la onda alfa se presenta cuando el sujeto está despierto y con los ojos cerrados en un rango de frecuencias (8-12 Hz) y una amplitud de aproximadamente 10 microvoltios (Mecacci y Spinelli, 1999).

El EEG todavía tiene extraordinaria vigencia en neurociencias, dado que es el único instrumento del que se dispone para la aproximación al funcionamiento cerebral en tiempo real, es decir en escala de milisegundo (Parra y Lopes da Silva, 2002), y se considera un índice general del nivel de activación cerebral (Mecacci *et al.*, 1999). No obstante, en el estudio de los procesos sensoriales, -señala Andrés (1993, 1997)- que la técnica del EEG ha sido considerada demasiado global e inespecífica para el propósito de conocer cómo los estímulos externos se procesan a nivel cerebral y poder dilucidar las relaciones entre los diferentes parámetros derivados del EEG (ondas alfa, amplitud) asociados con las diferencias en las puntuaciones de CI. Uno de los principales problemas es el nivel de ruido o EEG espontáneo que enmascaraba las variaciones de los potenciales eléctricos y dificultaba el registro y análisis de la señal (la actividad neuronal específica) ante el estímulo concreto.

Aplicando la tecnología electrónica del promediado al EEG, mediante la producción de estimulación repetitiva, se consigue disminuir el valor del ruido (EEG) e incrementar el valor de la señal (ERP) (Coles *et al.*, 1990). La señal (potencial de acción) analógica registrada, se transfiere a un sistema de amplificación y filtrado y, se convierte, mediante un convertidor analógico-digital, en una señal digital que consiste en una onda generada en el tejido neural. El promediado cancela las ondas que no están en sincronía con los estímulos y mantiene las ondas en sincronía, sumándolas. Éstas ondas finales resultantes del promediado son fluctuaciones transitorias o cambios en la actividad eléctrica cerebral y se les denominan potenciales evocados (PE) o potenciales provocados por un evento (*event related brain potentials*, ERP).

Esencialmente, el componente ERP se corresponde con la identificación de la porción de una onda eléctrica que presenta una morfología derivada de un determinado patrón espacio-temporal de activación cerebral resultante de la función voltaje por tiempo. La secuencia del patrón espacio-temporal de los potenciales evocados refleja, en líneas generales, su origen neural, desde las estructuras y vías aferentes más externas hasta el córtex. Se considera que el ERP son las manifestaciones distantes de la actividad de grupos de neuronas, ya que se asume que un componente ERP es una onda que representa la actividad sincronizada de macro-colonias de neuronas que, al activarse cuando alcanzan un umbral colectivo simultáneamente, generan una diferencia de potencial de entre dos electrodos craneales (Donchin *et al.*, 1986; Allison *et al.*, 1986).

Los componentes ERP han sido objeto de varias definiciones: el componente (voltaje pico) puede ser definido como el *output* de la actividad de varios generadores neurales que se suman en el electrodo registrador (Näätänen y Picton, 1987); un reflejo de los patrones de actividad neuronal asociados a los intercambios de información del cerebro, determinados por la estimulación sensorial (Hillyard y Kutas, 1983); definidos de acuerdo a su posición en la secuencia de picos y valles (máxima y mínima) que se observan en el trazo total que configura el ERP representado en el dominio del tiempo. Un método para separar los diferentes componentes sumados en el mismo pico está basado en el análisis de la latencia (Mecacci, 1999). Las latencias pico de los componentes temporizan el procesamiento sensorial o cognitivo de la información. Así, los picos de los componentes, que están sujetos a una variedad de medidas y operaciones, son descritos normalmente en términos de las características morfológicas de polaridad y latencia (Coles *et al.*, 1990) y también por la amplitud.

Así, para la denominación de las ondas que presentan los componentes ERP se recurre a los parámetros que les caracterizan; éstos son siguiendo a Mangun y

Hillyard (1990): la *latencia*, que se refiere al tiempo de ocurrencia de un evento particular y es definida como el tiempo que transcurre (en milisegundos) desde la presentación del estímulo hasta la aparición del componente y se indica por la denominación de éste (*i.e.*, el P100 es el pico positivo P, que aparece entre los primeros 100 ms. después de la presentación del estímulo); la *amplitud* (en microvoltios, μV) que se define operacionalmente como la diferencia entre la línea base y el componente, o entre dos componentes sucesivos de distinta polaridad (*i.e.*, N100-P100); la *polaridad* de los picos se refiere a la deflexión eléctrica positiva o negativa post-estímulo de los componentes y es determinada por la magnitud del voltaje de un electrodo relativo al voltaje detectado por el otro electrodo; y la *distribución* del electrodo que viene determinada por la orientación anatómica de los generadores neurales.

El estudio desde la aproximación neuropsicología y psicofisiología, en general, se parte del presupuesto de que la morfología de la onda del componente ERP (*i.e.*, P100, P300) revela el funcionamiento de los procesos sensoriales y cognitivos que pueden ser identificados en los ERP. El componente ERP, dependiendo de la perspectiva de estudio más fisiológica o más psicológica, ha sido objeto de diferentes definiciones y clasificaciones. La tradicional clasificación de los componentes del PE (Sutton *et al.*, 1965), en componentes exógenos y endógenos, corresponde al criterio de la dependencia de la estimulación, es decir, si son evocados por acontecimientos extrínsecos o intrínsecos al sistema nervioso respectivamente, pero también se clasifican dependiendo del tipo de tareas que debe realizar el sujeto.

Los componentes exógenos son denominados obligatorios, sensoriales o exógenos (Coles, Gratton y Fabiani, 1990; Mecacci, 1999); en psicofísica también han sido clasificados como componentes tempranos o rápidos (Regan, 1984, 1988). Estos potenciales exógenos son utilizados en la investigación del procesamiento sensorial de la información. En éste contexto se utilizan estímulos simples sin significado en paradigmas en los que el sujeto no debe de realizar ninguna tarea o se manipulen variables. La morfología (amplitud y latencias) los ERP exógenos está determinada por las características físicas de los parámetros de los estímulos externos tales como: intensidad, contraste, frecuencia temporal y espacial etc., y por la actividad extrínseca del sistema nervioso, es en este sentido por lo que son descritos como exógenos (Coles *et al.*, 1990). Se supone que éstos potenciales representan la actividad de las vías visuales que transmiten las señales generadas en los receptores periféricos hacia el sistema de procesamiento central, por lo que éstos componentes representan la actividad o manifestación de los procesos sensoriales básicos (Coles, Gratton y Fabiani, 1990); también han sido definidos como procesos puramente fisiológicos (Näätänen, 1984), ya que todo el funcionamiento sensorial aferente, es puramente

fisiológico. Según éste autor estos potenciales permanecerían insensibles a los procesos psicológicos y no reflejarían influencias del estado general del organismo del sujeto.

La clasificación de Barret *et al.* (1992a, 1992b, 1993) distingue entre ERP sensoriales y ERP cognitivos. Las ondas de los componentes de los ERP sensoriales también dependen de la modalidad sensorial específica por la que son elicitados. Entre éstos tenemos: los potenciales evocados visuales (*Visual Evoked Potentials, VEP*), los potenciales auditivos evocados en el tronco cerebral (BAEP, *Brain Stem Evoked Potentials*) y; los SEP (ERP somatosensoriales). Los componentes ERP endógenos (cognitivos), al contrario que los exógenos, son relativamente independientes de las características físicas de los estímulos y están determinados principalmente por la actividad psicológica intrínseca del sujeto. Un ejemplo de éstos son: la onda P300, Potenciales Lentos (SP), la onda contingente negativa (CNV) y el RP (potencial de respuesta). Éstos potenciales son utilizados por los investigadores que focalizan en el estudio de la función cognitiva desde la aproximación de los componentes cognitivos o experimental.

En los estudios desde ésta aproximación, conceptualmente el ERP es visto como la manifestación de un proceso psicológico específico (*i.e.*, atención, memoria, etc.) (Coles, Gratton *et al.*, 1990) y el ERP puede ser utilizado como indicador del tiempo real que consumen éstos procesos. Para más información sobre el significado funcional de los componentes cognitivos ERP, véase Hillyard y Kutas (1983) y Hillyard y Picton (1987) y Donchin *et al.* (1986).

En cuanto a los aspectos técnicos y metodológicos de los ERP, el procedimiento utilizado para derivar ERP son los mismos amplificadores y filtros digitales (mediante la aplicación de algoritmos matemáticos o códigos numéricos de representación de las propiedades del estímulo) utilizados para la obtención de EEG. Ha de considerarse que la respuesta cerebral evocada se ha de comprender en términos del sistema oscilatorio y en términos de un modelo matemático del sistema relacionado significativamente con la neurología del cerebro (Robinson, 1993).

Los electrodos se colocan sobre el cráneo en varias localizaciones de acuerdo con el sistema internacional 10-20 (Jasper, 1958), como viene ilustrado en la **figura 4.4.**, y se conectan al amplificador. El registro de la actividad eléctrica se realiza mediante las diferencias de potencial obtenidas por los electrodos colocados en el cuero cabelludo. Se consideran dos colocaciones, la monopolar (se registra la señal por la diferencia de potencial entre dos electrodos situados en dos áreas activas) y la bipolar (el electrodo activo se sitúa en una zona activa referenciado por otro electrodo colocado en una zona supuesta inactiva). Para más información puede consultarse Gil-Nage *et al.* (2002).

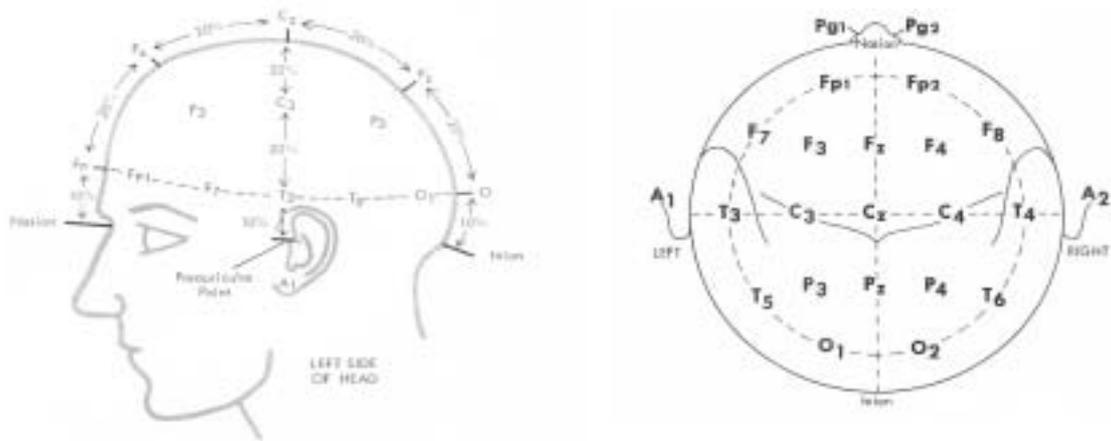


Figura 4.4.- Colocación de los electrodos según el sistema 10-20.

El sistema internacional 10-20 de colocación de electrodos (Jasper, 1958) se basa en las relaciones anatómicas entre la localización de un electrodo y el área subyacente al córtex cerebral, y se refiere a la distancia espaciada del electrodo a 10 % o 20%. Los porcentajes se utilizan para las diferencias normales en el tamaño de la cabeza. **En la figura de la izquierda**, cada punto situado encima del cráneo de la figura de la izquierda indica la posición del electrodo. El Nasion es el punto de identificación entre la frente y la nariz y, el Inion es el punto situado en la parte posterior de la cabeza en la protuberancia occipital. **En la fig. de la derecha**, los caracteres alfabéticos se refieren al área del cerebro sobre la que están localizados los electrodos. Cada sitio tiene una carta (para la identificación del lóbulo) y un número y, otra carta para identificar el hemisferio. Las letras corresponden a la posición F (frontal), T (temporal), P (parietal), C (central) y O (occipital). Los números suscritos pares corresponden al hemisferio derecho y los impares al izquierdo. La suscripción "z" se refiere a la colocación del electrodo en el *midline* (que se refiere a todos aquellos electrodos colocados en línea directa desde el nasion al inion. Ex. Cz= Central zero (vértex).

2.1.1. Los VEP en el procesamiento básico de la información.

Los potenciales evocados visuales (VEP) son potenciales sensoriales elicitados por la estimulación visual producida por el patrón reverso (Regan 1988) (ver método). El procesamiento de estímulos simples depende de los procesos sensoriales básicos que subyacen a la percepción de la luz acromática (Mayurtina, 1994). La respuesta de los potenciales transitorios se genera en los primeros 100 milisegundos después de la presentación del estímulo visual (*i.e.*, flash de luz, tableros de cuadros), como respuesta obligada del sistema nervioso a los estímulos ambientales externos (extrínsecos). La latencia y amplitud de éstos componentes son invariablemente elicitadas y sus variaciones dependerán solo de factores fisiológicos (Caryl, 1991).

Los VEP son descritos por Regan (1988) como *ERP de estado estable* (*steady-state VEP*), donde los componentes que constituyen la onda transitoria VEP permanecen constantes en el dominio del tiempo y la frecuencia. Así, la literatura caracteriza los VEP como potenciales altamente individualísticos y muy estables (Callaway, 1975), ya que se ha constatado que tienen una variabilidad de respuesta visual evocada inherente momento a momento, respecto tanto a la amplitud relativa como a la latencia de cada componente en un potencial evocado individual (Rosenstein, Furman *et al.*, 1994). Varios estudios realizados con gemelos confirman que los parámetros de la onda VEP, elicitados por estimulación visual simple, dependen de factores genéticos (Buschbaum *et al.* 1980; Lewis, Dustman y Beck, 1972; Ristanovic *et al.*, 1989; Mayurtina, 1994).

Los métodos electrofisiológicos como los VEP son utilizados principalmente en el contexto de la clínica neurológica para el control de la integridad del procesamiento básico de la información visual (Viggiano, 1999; Mecacci *et al.*, 1999). En este apartado aportaremos los recientes estudios para conocimiento de las estructuras cerebrales y los procesos fisiológicos asociados a los VEP. En nuestra investigación hemos elegido focalizar en el procesamiento neurovisual de la información y en el funcionamiento intelectual por lo que expondremos brevemente la organización neural para el procesamiento sensorial de la información.

2.1.1.1. Fundamentos de los VEP.

En este apartado fundamentaremos neurofisiológica y neuroanatómicamente los los VEP.

2.1.1.1. 1. Los componentes sensoriales del complejo de onda (N1, P1 y N2) de los VEP.

La trayectoria de los VEP está caracterizada por varias ondas con 3 picos, los cuales presentan los componentes sensoriales del complejo de onda N1-P1-N2 (**ver figura 4. 5**). Los VEP recogen la actividad derivada del funcionamiento de los diferentes órganos y nervios sensoriales del sistema receptor (retina) hasta el córtex sensorial (Córtex Visual Primario, CVP). Sistematizando, según Vaughan y Arezzo (1988), la morfología de la onda trifásica de los componentes sensoriales (N1, P1 y N2) de los VEP se sucede en una secuencia de picos positivos (P) y negativos (N) que se identifican de este modo: La respuesta inicial, elicitada tras la presentación de un estímulo visual, consiste en la presentación de una pequeña fase positiva entre los 30-40 ms post-estímulo seguida por una gran deflexión negativa, bajo la cual una serie de potenciales oscilatorios rápidos se superponen o solapan. Los potenciales

oscilatorios rápidos, que se originan en la retina y presentan una amplitud máxima en el polo occipital, se supone que representan la actividad subcortical de la vía visual; la respuesta del potencial transitorio VEP está formada por el complejo de onda N1-P1-N2: una onda negativa (N100) de amplitud reducida con una latencia máxima negativa hacia los 75 ms seguida de otra onda positiva (P100) que aparece hacia los 100 ms post-estímulo y; finalmente otra onda negativa (N200) hacia los 150-200 ms. Todas ellas con amplitudes máximas en el polo occipital o en el córtex visual primario (Simson, 1976, citado por Vaughan *et al.*, 1988).

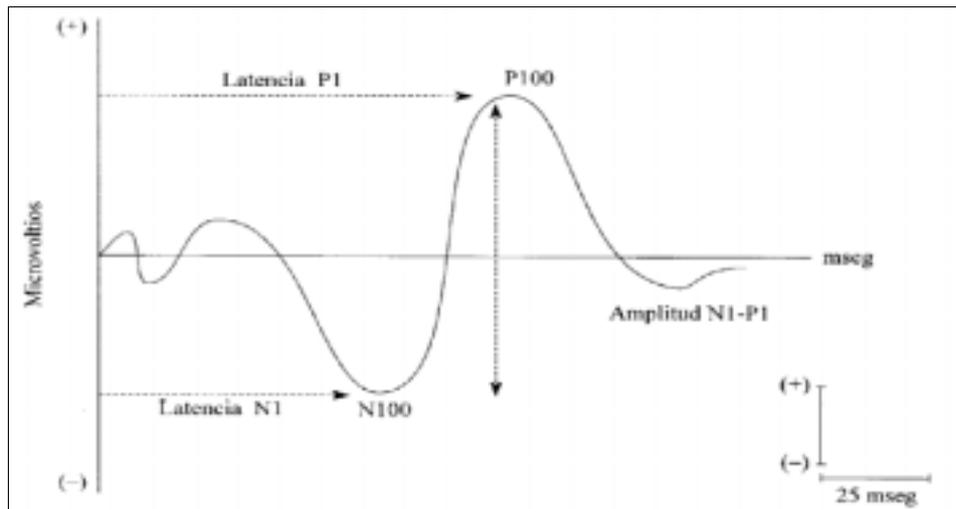


Figura 4.5.- Parámetros (latencia y amplitud) de los componentes ERP N100 y P100. Tomado de Andrés, 1997.

El primer componente negativo N1 es un componente cuya latencia refleja la transmisión sensorial inicial y su amplitud se considera que mide las diferencias neurofisiológicas entre dos estímulos. Sin embargo, según McCallum, Curry *et al.*, (1983) se ha demostrado que éste componente, en un rango de respuestas de latencias medias, elicitado mediante tareas cognitivas (*i.e.*, atender tonos), presenta sensibilidad a la atención selectiva en los ERP auditivos por lo que también ha sido considerado de tipo endógeno. Así, el primer componente negativo se interpreta como *exógeno* de estímulo obligatorio, cuya onda contiene múltiples contribuciones endógenas (Näätänen y Picton, 1987). No vamos a describir el segundo componente negativo N200, puesto que no será utilizado en nuestra investigación. Para más información sobre las relaciones entre los componentes N100 y el N200 con los procesos atencionales puede consultarse en Coles, Gratton *et al.* (1990) y en Hillyard y Kutas (1983). En nuestra investigación nos referiremos a los componentes exógenos, y en el siguiente punto nos ocuparemos del primer componente positivo, el P1.

2.1.1.1.2. La latencia P100.

En investigación neurológica se utiliza normalmente la latencia del componente VEP P100 como medida del tiempo de conducción nerviosa e índice de conducción neural postretinal derivado de los registros del VEP (Celesia y Kaufman, 1987, citado por Parisi *et al.*, 1998).

En general, los potenciales evocados de *estado estable* son una estimación inequívoca del tiempo de transporte (Regan, 1988). La utilización de la latencia de los VEP para estimar el tiempo de la transmisión neural en la vía visual se fundamenta en la interpretación de la latencia como la representación del tiempo transitorio global en el que cursa el procesamiento sensorial de la información por el sistema nervioso (desde que el estímulo impacta en la retina hasta que es transmitido al CVP). De manera que la latencia se utiliza normalmente como sinónimo de potencial evocado transitorio, pero la correspondencia entre la latencia y el tiempo de transporte es inequívoca solo para el primer pico de la primera deflexión (Regan, 1988). La latencia del primer pico de la primera deflexión positiva corresponde a la latencia del componente P1. Se trata del primer potencial eléctrico transitorio registrado en la posición Oz sobre el córtex visual primario.

Específicamente, la latencia corta de dicho componente, que aparece alrededor de los 100 ms, está casi enteramente debida al tiempo de conducción nerviosa (después de los 40-50 ms requeridos para el procesamiento intraretinal, incluyendo el tiempo de transducción cono-retina) (Chiappa, 1990, p 97-99, citado por Reed y Jensen, 1992), ya que solamente se producen tres sinapsis siguientes a la estimulación por el patrón reverso de los VEP en el curso de la trayectoria de la vía visual.

Así, en principio juntamente con la sinapsis de las células ganglionares retinianas hay solamente una sinapsis adicional en el tracto óptico del NGL del tálamo antes de que la vía visual termine con la realización de la tercera sinapsis que se efectúa en el *Layer 4* del CVP. El tiempo de conducción nerviosa de estas tres sinapsis juntas puede hacerse en menos de 3 ms de transmisión (Hubbard, Llinás y Quastel, 1969; Kandel y Schwartz, 1985, pp-352-362, citados por Reed y Jensen, 1992, 1993 a). Así, la vía nerviosa es la vía visual que va de la retina al tálamo (NGL) y de éste al CVP, de manera que casi toda la latencia que ocurre en este segmento de la vía visual, es tiempo de conducción nerviosa (Reed y Jensen, 1992).

2.1.1.1.3. Localización neuroanatómica de los generadores neurales del componente P100.

Como ya señalamos, un componente ERP también es definido por Näätänen y Picton (1987) como un generador anatómico dentro del cerebro (*anatomical source within the brain*). Para evidenciar la localización neuroanatómica del generador neural subyacente al componente P100 vamos antes a comentar brevemente los principales métodos y técnicas aplicados en su estudio.

Según Swick, Kutas *et al.* (1995), las diferentes aproximaciones al estudio de la localización de los generadores neurales (intracraneales) de la actividad eléctrica del cerebro de los componentes de los ERP son: el desarrollo de modelos con animales en los que se pueden utilizar técnicas invasivas (*i.e.*, lesiones cerebrales, intervención farmacológica, registros intracraneales); registro intracraneal en humanos (pacientes neurológicos) en los que se registra la actividad eléctrica mediante el implante de electrodos intracraneales; la combinación de registros eléctricos con registros magnéticos como la MEG; y, por último, el método del modelado de dipolos.

Para una mayor comprensión, explicaremos brevemente algunas de las técnicas para localización de los generadores en el interior del cerebro, tales como la **(1)** magnetoencefalografía (MEG), **(2)** el procedimiento del modelado por dipolos y **(3)** las técnicas de cartografía cerebral. Y también haremos referencia a la técnica de la tomografía por emisión de positrones (**TEP**), en la que para obtener una imagen por la TEP se inyecta un marcador del consumo energético por las neuronas análogo a la glucosa que, al no poder ser metabolizado, se acumula en las células activas del encéfalo. La TEP permite cartografiar la localización cortical específica ocurrida durante la actividad mental y se utiliza para el estudio del metabolismo cerebral de glucosa; las diferentes áreas de la sustancia gris exhiben patrones distintivos de metabolismo de glucosa (la sustancia blanca utiliza mucho menos glucosa que la sustancia gris).

(1) La magnetoencefalografía (MEG) es una técnica que permite el registro de los campos magnéticos generados por la actividad bioeléctrica cerebral mientras el sujeto realiza diferentes tareas simples o complejas (Renault, 1992); la MEG ha sido aplicada en los estudios topográficos de la actividad cerebral (Mecacci *et al.*, 1999), ya que permite identificar los lugares en el cerebro donde se originan las señales equivalentes o los dipolos (Vila, 1996).

(2) La técnica de la modelado por dipolos (*Dipole Modeling*) se basa en que las ondas (ERP) de los potenciales eléctricos se crean por generadores de corriente intracerebrales que están relativamente localizados en regiones específicas del encéfalo. El registro de los campos potenciales (eléctricos y magnéticos) puede

efectuarse desde una distancia considerable a sus orígenes intracraneales por la modelización de la actividad eléctrica cerebral realizada mediante dipolos equivalentes. Un dipolo, que consiste en dos cargas eléctricas de polaridad opuesta entre las cuales fluye la corriente, es el origen teórico de la distribución aproximada de los potenciales ERP creados (Allison, Wood *et al.*, 1986) **(Figura 4.6.)**.

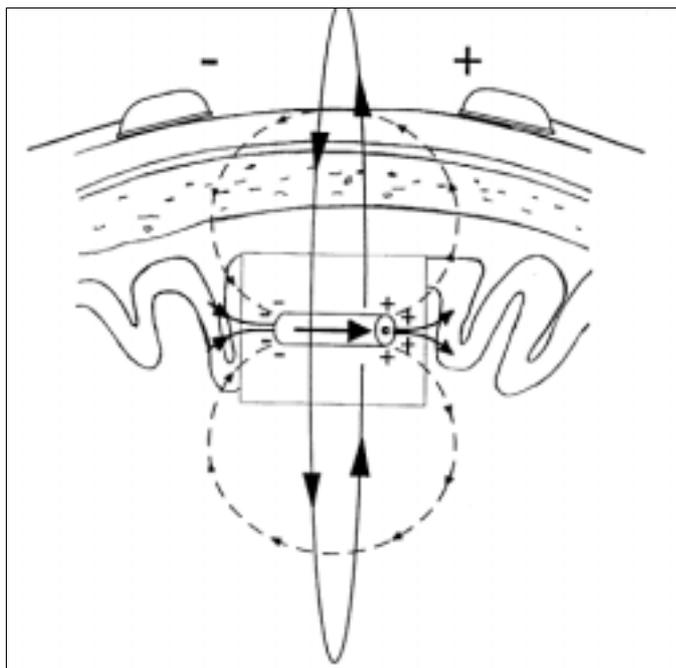


Figura 4.6.- La distribución teórica de los campos eléctricos y magnéticos producida por una corriente de dipolos entre el córtex cerebral, esquemáticamente localizados debajo del cuero cabelludo y el cráneo. Tomado de Kaufman *et al.* (1981) *Int. Journal of Neuros.*, 15, 223-239 (En Swick, Kutas *et al.*, 1995).

Seguendo a Vila (1996), otra de las técnicas empleadas es la **(3)** cartografía cerebral (*brain electrical activity mapping*, BEAM) que aporta las bases para la elaboración de mapas de la actividad eléctrica. Esta técnica consiste en el estudio de la distribución espacial de los potenciales evocados registrados desde diferentes localizaciones craneales utilizando múltiples canales de registro.

Las técnicas cartográficas de neuroimagen cerebral, basadas en el registro de los ERP, permiten hacer un análisis visual informativo sobre la localización de los generadores de los ERP, ya que nos permiten visualizar, mediante líneas y colores que representan el valor del voltaje de la señal eléctrica, los puntos de registro, pudiéndose visualizar, mediante los mapas de registro, las zonas topográficas de la cabeza que están activas o no, como en la técnica denominada *Current Source Density* (CSD) o la electrofisiología de alta densidad.

Según Beatty *et al.* (1986), la respuesta neuromagnética del SNC es similar a la de los ERP sensoriales, que consisten en una secuencia de componentes de diferente amplitud y polaridad. Así, en esta respuesta magnética de los ERP se ha estudiado el patrón espacial de los campos magnéticos de los componentes de los ERP en referencia a sus orígenes intracraneales. La respuesta neuromagnética del córtex visual fue primeramente descrita por Brenner *et al.* (1975), quienes localizaron el origen de los dipolos equivalentes de la respuesta VEP en el eje medial-lateral perpendicular a la fisura sagital media en el córtex occipital; el patrón de estimulación de los VEP contiene un respuesta fásica correspondiente a la latencia del componente

complejo de onda de los VEP, estando esta respuesta restringida hacia las derivaciones occipitales sobre el córtex, cuya distribución es congruente con un dipolo de corriente equivalente en el córtex occipital mesial que está orientado a lo largo del eje medial-lateral (Richer *et al.*,1983) (ver figura 4.8.).

En la **figura 4.7.**, podemos observar los potenciales VEP registrados sobre el cráneo occipital humano y la localización de los dipolos equivalentes en el CVP. Las recientes evidencias sobre localización neuroanatómica confirman que el componente P100 se genera en el áreas occipitales o córtex visual primario (córtex estriado) que está ubicado en el polo posterior del lóbulo occipital (Areas 17 de Brodman)(Mangun, Buonocore *et al.*, 1998; Hatanaka *et al.*,1997)(**figura 4.9.**). Lo que se traduce en que las respuestas neurales a los estímulos visuales simples dependen de la actividad cortical del CVP. En la **figura 4.10.**, podemos visualizar, mediante imágenes por RM, el registro de la actividad eléctrica del CVP mediante un microelectrodo implantado en el cerebro de un primate.

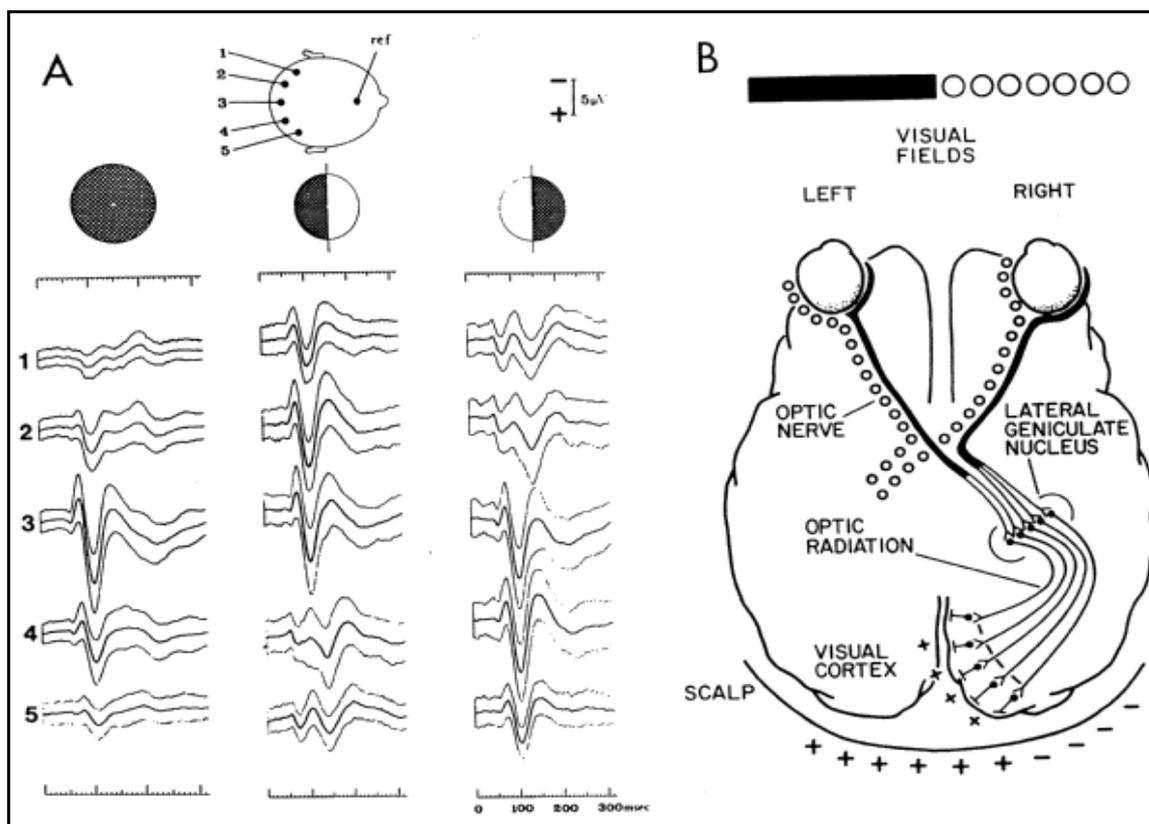


Figura 4.7.- Anatomía y electrogénesis del córtex visual. A. Campos potenciales registrados sobre el cráneo occipital humano a los 2/seg de la estimulación visual por el tablero de cuadros del patrón reverso y las respuestas a la estimulación del campo total (izquierdo), de la mitad campo izquierdo (centro), y de la mitad campo derecho (derecha). **B.** Outline de la vía visual y localización de los dipolos generados en el córtex visual para la mitad del campo izquierdo de la topografía craneal en **A.** Tomado Allison *et al.* (1986). En Coles, Donchin *et al.* (1986).

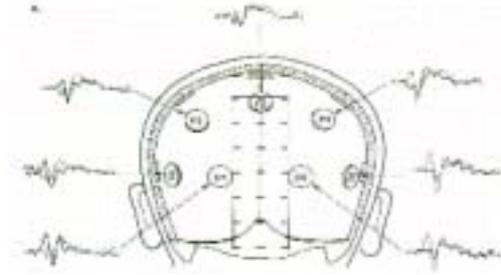


Figura 4.8.- Esquema de la localización neuromagnética de los componentes N100 y P100 de la respuesta transitoria de los VEP al patrón de estimulación visual Tomado de Richer *et al.* (1983). En Coles *et al.* (1986).

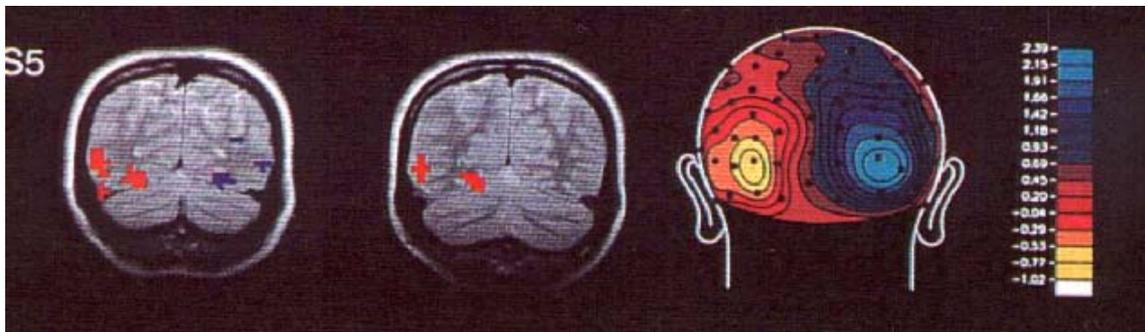


Figura 4.9.- Para ilustrar la localización neural del P100 en el CVP, aportamos un estudio reciente de atención selectiva visuo-espacial en el que utilizan la técnica de cartografía de alta densidad basada en el modelado por dipolos de la actividad eléctrica cerebral. Se observa en el sujeto una polaridad positiva (P1) que está claramente localizada en el CVP. Tomado de Mangun *et al.* (1998).

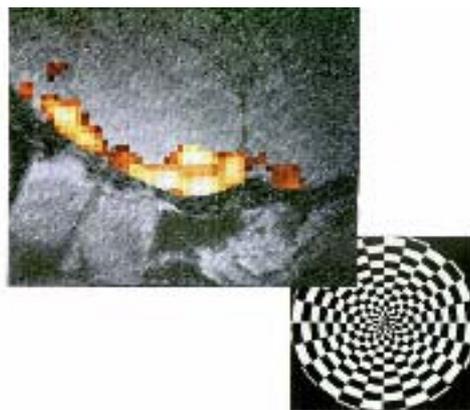


Figura 4.10.- Registro de la actividad eléctrica del CVP mediante un microelectrodo. El sistema de imágenes por RM revela un cambio en la concentración de oxígeno (en amarillo anaranjado). El estímulo visual es un tablero de cuadros que gira en un sentido y luego en el otro. Fotografía de Nikos Logothetis (1999) publicada en el núm. 231 de la revista *Mundo Científico* (2001).

2.1.1. 2. Factores que influyen en la variabilidad del registro de los VEP.

En este apartado expondremos los factores que influyen en la variabilidad del registro de la respuesta de los VEP. Anteriormente ya señalamos que la onda de los ERP exógenos está directamente relacionada con las propiedades físicas del estímulo utilizado para evocarla. Aquí no vamos a revisar todos los parámetros de estimulación por el patrón reverso de los VEP (*i.e.*, contraste, intensidad, frecuencia, etc). Para más información puede consultarse en Regan (1988).

Uno de los parámetros es la intensidad de la estimulación que ha sido relacionada sistemáticamente con la variación en las amplitudes y latencias de los componentes VEP (Vaughan *et al.*, 1988). En un trabajo para valorar el efecto de las diferentes intensidades de estimulación en el registro de los VEP, según Cosculluela (1990), la latencia P1 está en función de la intensidad, a mayor intensidad de estimulación mayor latencia; la amplitud P1 (indicador de la magnitud de la respuesta cerebral a la estimulación) aumenta al aumentar la intensidad de la estimulación hasta un determinado nivel de intensidad a partir del cual, la amplitud disminuye; señala que éste fenómeno puede ser consecuencia de un efecto techo, aunque éste tendría que mantener constante la amplitud de la respuesta, y los datos mostraban que disminuía.

En la explicación de éste fenómeno en la literatura se señala que la intensidad y tiempo de estimulación están asociados experimentalmente a los VEP corticales con el **índice de habituación**. La habituación- según Afra, Proietti *et al.* (1998)- parece ser que se trata de un fenómeno fisiológico del córtex visual que incide en el registro de la amplitud de los VEP, en términos de reducción de la misma. En sujetos sanos, durante estimulación continua (*i.e.*, 10-12 minutos) mediante el tablero de cuadros del patrón reverso, se ha observado que la estimulación inicial inducida presenta reducciones en la amplitud N1-P1 de los VEP por los efectos de la habituación (Sappey-Marinier *et al.*, 1992, citados por Afra *et al.*, 1998), lo que les sugiere que la habituación protege el córtex visual contra la sobrestimulación.

Otro de los factores a tener en cuenta es por **los efectos de la variable sexo**. En general, señala Gölgeli (1999) que varios estudios han observado diferencias de sexo en los ERP, pero no son conclusivos. Los resultados de los estudios revisados por Guthkelch *et al.* (1987) indican que las mujeres normalmente presentan mayores amplitudes y latencias pico P100 más cortas que los hombres en los VEP (Allison *et al.*, 1983; Buchsbaum *et al.*, 1973). Éstos mismos resultados han sido observados también para el resto de las modalidades de los ERP auditivos (BAEP) y somatosensoriales (SEP) (Gölgeli, Süer *et al.* 1999; Allison, Wood y Goff; 1983). Gölgeli *et al.* (1999) encontraron efectos significativos en función del sexo y la colocación de los electrodos sobre los ERP auditivos evocados mediante una tarea

oddball. En su estudio halló que las amplitudes interpico N1-N2 y N2-N3 son mayores en hombres que en mujeres en la posición del electrodo Cz y la amplitud N2-N3 fue mayor en los hombres que en las mujeres en la posición Oz; las latencias de los componentes N1, P2, N2 y P3 no diferían entre sexos; para ambos sexos halló que la amplitud N1-N2 fue mayor en Fz y Cz que en Pz y Oz; la amplitud N2-P3 fue mayor en la posición Fz que en la Oz solo para las mujeres y no hallaron diferencias significativas para las latencias de los componentes N1, N2 y P3 para el sitio de colocación de los electrodos en ambos sexos.

Emmerson-Hanover, Shearer, Dustman *et al.* (1994) estudiaron los efectos del sexo y edad en las latencias y amplitudes VEP en una muestra de sujetos de un rango de 6-80 años. En general, constatan que se producen incrementos en las latencias después de la edad de los 20 años que se estabilizan en la edad adulta y decrecen durante la maduración; observaron que las diferencias debidas al factor sexo son mínimas durante el desarrollo, aunque los hombres tienen tendencia a tener latencias mayores que las mujeres durante la edad adulta y a través del ciclo vital las amplitudes fueron mayores para las mujeres.

En la literatura se han sugerido varias propuestas explicativas para las diferencias en las latencias entre sexos en los ERP auditivos y somatosensoriales, una de ellas señala a los factores endocrinos. Así, Marsh y Smith (1994) atribuyen las diferencias al efecto del nivel de esteroides (estrógenos y progesterona) circulando en sangre. En otro estudio, Tan *et al.* (1993) hallaron una correlación linealmente negativa entre niveles de serum de testosterona y la latencia corta del componente P100. Lo que les sugiere que ésta (latencia P1) puede estar causada por el efecto de la hormona, pero únicamente en el cerebro derecho de los sujetos hombres de dominancia izquierda. De manera que la testosterona crearía una asimetría cerebral. Shushtarian y Yahyavi (1999) sugieren tener en cuenta el efecto del ciclo menstrual en el registro de los VEP en las mujeres, ya que observaron cambios extraordinarios en la latencia P100 y en el patrón de la onda VEP entre un día normal y en uno de ciclo menstrual. Kaufmann, Elbel *et al.* (2001) hallaron que las mujeres, a pesar de presentar mayores amplitudes VEP, presentaban inferiores amplitudes dependientes del nivel de oxígeno en sangre, lo que puede sugerir diferencias de sexo en los hemodinámicos cerebrales (*i.e.*, r CBF).

Otra de las propuestas para la explicación de las diferencias de sexo en las latencias de los ERP visuales y auditivos ha sido atribuida a las diferencias de sexo **en el tamaño de la cabeza** (Allison, Wood y Goff, 1983; Guthkelch, Bursick *et al.*, 1987). En el estudio de Guthkelch *et al.* (1987) hipotetizaron que las diferencias de sexo en las latencias VEP dependen de tener una circunferencia occipito-frontal

más reducida. Así, en una muestra de 8 mujeres y 8 hombres sanos de 18 a 30 años, estudiaron la estructura de los VEP como una función del sexo y el tamaño de la cabeza. Para ello, incluyeron en su estudio medidas del tamaño de la cabeza como las distancias inion-nasion (indicador de longitud) y las medidas de la circunferencia de la cabeza (indicador de volumen cerebral). Los resultados indicaban que la latencia P100 correlacionó mejor con la circunferencia de la cabeza que con el sexo y no hallaron correlación significativa para la latencia P100 y la longitud de la cabeza. Éstos resultados indicarían que un gran determinante de las diferencias en la P100 en adultos es el tamaño de la cabeza más que el sexo, por lo tanto, las diferencias observadas pueden ser debidas más a las diferencias en la geometría de la cabeza que a diferencias biológicas generales entre hombres y mujeres. Contrariamente, Olivan, Alvarez y Cubero (1990) no hallaron relación entre el perímetro cefálico y la temperatura sobre la latencia y amplitud del P100 en una muestra de 20 mujeres y 20 hombres. Durrant, Sabo y Hire (1990) señalan que en la medida de que existen relaciones entre las dimensiones de la cabeza y las medidas de la latencia de los BAEP, con el uso de las latencias interpico puede neutralizarse el efecto.

Más recientemente, un estudio de Shibata, Osawa *et al.*(2000) realizado en sujetos clínicos con hiperintensidad de sustancia blanca (HSB) presentaron una mayor latencia P100 y P200 que en los controles. En concreto, para la HSB en los occipitales, los hombres tuvieron latencias P100 significativamente más prolongadas comparadas con las mujeres; éstas tuvieron amplitudes P1 significativamente mayores que los hombres. En otro estudio, Gur *et al.*(1999) hallan que el cerebro de los hombres tiene mayor porcentaje de sustancia blanca en comparación con el cerebro de las mujeres. La hiperintensidad de sustancia blanca o glía, en casos clínicos, ha sido relacionada con prolongaciones en las latencias P100, por lo que sería apropiado hacer ésta consideración en los valores clínicos de los VEP (Shibata *et al.*, 2000).

Otro de los factores a tener en cuenta es los registros es **la edad**. Se ha observado que las latencias pico de los BAEP y SEP se incrementan con la edad, excepto la latencia P100 del VEP que decrece entre la edad de 4 a 19 años y no presenta cambios entre los 20 y 59 años (Allison, Wood *et al.*, 1983); se ha observado que la amplitud de los componentes de los VEP decrece por los efectos de la edad (Kutas, Iragui y Hillyard, 1994).

Otro de los factores en la variación del registro de los VEP proviene de la variación en **la posición de los electrodos** (bipolar o monopolar) (Callaway, 1975). También por los efectos del campo de estimulación visual sobre el registro de las respuestas eléctricas de los VEP (ver Mecacci *et al.*, 1990). Otro de los factores es por los efectos de la **colocación de los electrodos**, de manera que los componentes

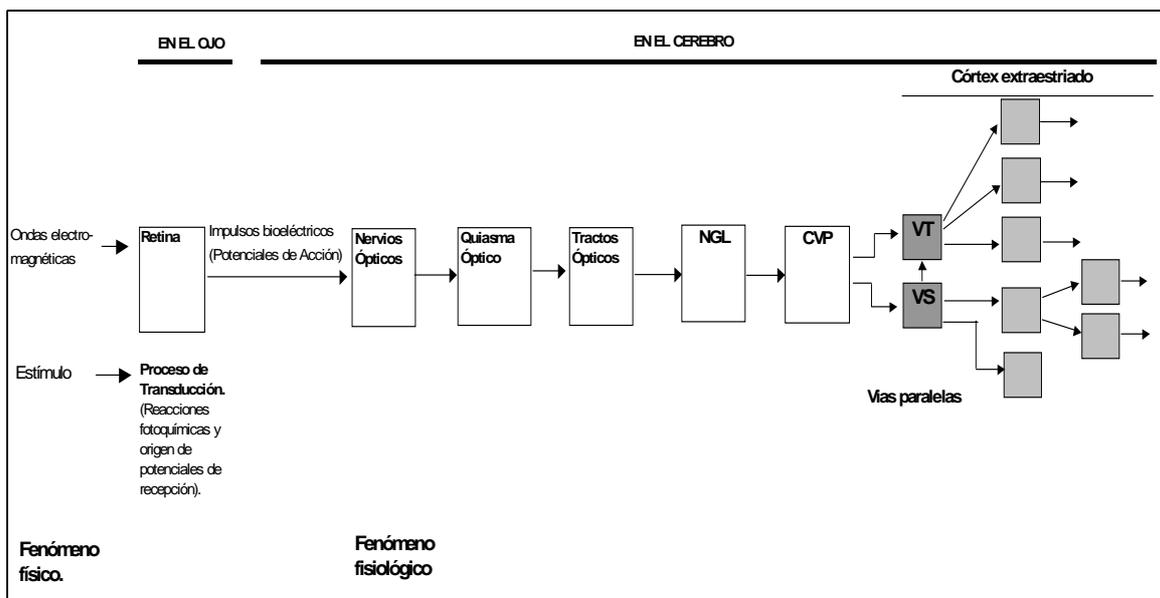
de la onda VEP registrados simultáneamente por el mismo estímulo desde diferentes colocaciones de electrodos pueden tener un diferente origen neuropsicológico y un diferente significado funcional (Mayurtina, 1994).

2. 2. 1.3. El procesamiento neurovisual de la información.

En este apartado expondremos brevemente la organización neural para el procesamiento sensorial de la información siguiendo a Oross y Woods (2003), Soraci *et al.* (2003) y a Kandel *et al.* (1997).

La fisiología sensorial cognitiva examina las consecuencias neurales del estímulo físico y cómo éste es procesado en el cerebro. Muy esquemáticamente, las fases del proceso perceptivo sensorial comienzan en la retina y la información se transmite desde ésta por el nervio óptico hasta el núcleo geniculado lateral (NGL) y desde aquí hasta el córtex visual primario (CVP) o área 17 de Brodman. Las áreas extraestriadas son un conjunto de áreas visuales de alto orden que contienen aproximadamente 32 representaciones de la retina y ocupan más de la mitad de la superficie del córtex (fig. 4.11.).

Fig. 4.11.- Esquema del proceso perceptivo- sensorial de la información.



Abreviaciones: NGL, Núcleo geniculado lateral; CVP, Córtex visual primario; VT, Vía Transitoria; VS, Vía Sostenida.

Nota: El esquema de la fig. 4.11. de los subsistemas que intervienen en las vías ópticas y procesos básicos está adaptado de Calle Guglieri (1977).

La retina no es un órgano periférico, sino parte del sistema nervioso central; se desarrolla a partir del ectodermo neural de la que surge el encéfalo, siendo su organización sináptica similar a la de otras estructuras neurales centrales. La radiación óptica y las neuronas corticales tienen ambos unos calibres axonales muy pequeños y conducen velocidades similares (Oh, 1993). La retina contiene células ganglionares de dos tamaños: células grandes (denominadas magnocelulares o de tipo M) y células pequeñas (denominadas parvocelulares o de tipo P). Cada uno de estos tipos de células transporta información distinta que llega a las capas del NGL y de ahí proyecta a distintas regiones corticales. Las capas de células M y P dan lugar a dos vías visuales o sistemas subyacentes al procesamiento visual de la información.

El sistema visual, como cualquier otro sistema sensorial, puede ser visto como una serie de canales independientes de procesamiento de la información paralelos (Desimone y Ungerleider, 1989; Kaas *et al.*, 1991). Aunque no se conoce con certeza el número exacto de las vías visuales existentes ni el grado de independencia entre ellas, la literatura focaliza en dos grandes vías visuales paralelas, comúnmente referidas a la vía *transitoria* (**VT**) y a la vía *sostenida o prolongada* (**VS**), que difieren fisiológica y funcionalmente.

La vía *transitoria* se origina en la retina y es identificada por los axones que terminan en las capas magnocelulares del NGL hasta las regiones del córtex estriado. Las áreas corticales claramente asociadas con esta vía implican al córtex CVP (V1), V2 y V3, al temporal medio (MT), y todas aquellas localizadas en el córtex parietal posterior implicadas en la función visuo-espacial. Esta vía procesa *dónde* están los objetos. Puede distinguirse conductualmente por incrementar la sensibilidad al estímulo pico, altas frecuencias temporales, bajo contraste, profundidad y movimiento. Fisiológicamente se distingue por presentar neuronas grandes, campos receptivos grandes y una conducción de axones rápidos. La vía *sostenida* es identificada por axones que proyectan a las capas parvocelulares del NGL. Esta es la vía que procesa el *qué se ve* e implica las áreas V1, V2, V4, y el córtex inferior temporal (IT) y se distingue por un incremento de la sensibilidad para las altas frecuencias espaciales implicadas en la percepción del color y las formas.

A pesar de que existe consenso en cuanto a que el sistema visual procesa en paralelo, los investigadores no están de acuerdo sobre hasta qué punto las distintas funciones como las implicadas en procesar el movimiento, la forma o el color son separables entre dos o más vías ni tampoco se ponen de acuerdo en cómo interactúan éstas. Ha sido postulada la existencia de un *mecanismo de la integración* subyacente a la información momentánea que está siendo procesada independientemente en distintas regiones corticales. Según Treisman *et al.* (1980)

la *atención* focaliza la percepción visual facilitando la coordinación entre las distintas vías visuales.

El descubrimiento de que el procesamiento visual se realiza en vías paralelas más que en una vía serial plantea un nuevo problema que hace referencia a cómo se produce la integración de la información en un sistema de vías paralelas, ya que se supone que la integración solo podría conseguirse de manera interactiva. Solo queremos dejar estos temas apuntados ya que no son nuestro objeto de estudio y en la actualidad son objeto de investigación y debate.

Muy esquemáticamente, el procesamiento visual puede organizarse en distintos niveles de tratamiento de la información: en el nivel más elemental se produce el procesamiento sensorial de la información; a nivel intermedio se

introducen contrastes, reconocimientos de la información; y a nivel superior se da significado a esta información que es finalmente interpretada sobre las bases de las representaciones cognitivas en niveles de procesamiento superior (Bonnet, 1995). En los niveles de procesamiento de la información sensorial, en los estadios iniciales o en el *input*, la transducción de la información es debida a la capacidad o dotación individual del organismo para la transmisión de la información y se asume que hay un *umbral de respuesta sensorial*. En este nivel de procesamiento elemental, la capacidad perceptivo-sensorial frecuentemente más testada es la discriminación sensorial, cuya valoración se realiza mediante los procedimientos o técnicas de los potenciales evocados visuales (VEP) (Oross y Woods *et al.*, 2003).

Se cree que el procesamiento temporal de la información puede depender de *un reloj interno* del tiempo de percepción sensorial que afecta a los tiempos de reacción (TR) (Treisman, Faulkner *et al.*, 1990; Treisman *et al.*, 1992, citados por Burle y Bonnet, 1997). Los estudios de Burle y Bonnet (1997) postulan la existencia de un marcador en el sistema de procesamiento de la información. Según Oross y Woods

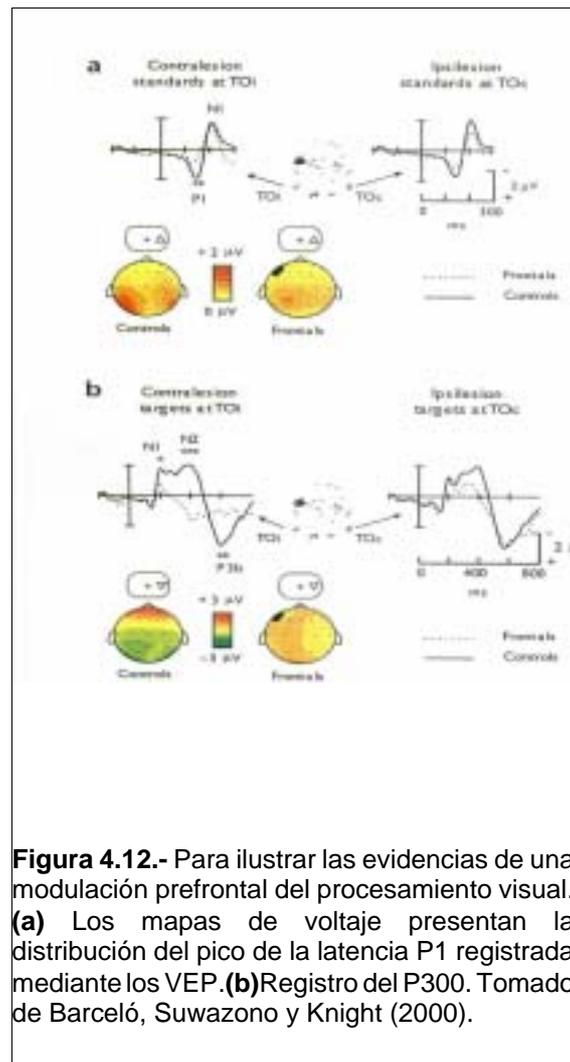


Figura 4.12.- Para ilustrar las evidencias de una modulación prefrontal del procesamiento visual. **(a)** Los mapas de voltaje presentan la distribución del pico de la latencia P1 registrada mediante los VEP. **(b)** Registro del P300. Tomado de Barceló, Suwazono y Knight (2000).

et al. (2003), sería interesante la descripción de las propiedades funcionales del reloj interno, particularmente porque un mecanismo central de distribución temporal podría ayudar a explicar las diferencias individuales en los procesos sensoriales y cognitivos.

Mencionaremos también que existe una teoría de la adquisición de la información visual postulada de Busey y Loftus (1994) que conjunta las dos subteorías o modelos que se utilizan para describir el nivel elemental perceptivo-sensorial y el nivel superior de los procesos cognitivos. Por otra parte, ésta aparente distinción entre niveles de procesamiento, según Oross y Woods *et al.* (2003), no está clara y obedece a razones convencionales.

Una de las futuras líneas de investigación consiste en determinar los mecanismos subyacentes que revelarían la interacción entre ambos niveles de procesamiento. Como por ejemplo, los resultados de las recientes investigaciones en las que se pone de manifiesto que el procesamiento visual de la información presentaría una modulación prefrontal, ya que se ha evidenciado que el córtex prefrontal (un área implicada en procesamiento complejo de alto orden o los ejecutivos centrales) regula la actividad neuronal del córtex estriado o córtex visual primario (Barceló, Suwazono y Knight, 2000) (**ver figura 4.12.**). La investigación actual relaciona estos lóbulos frontales con el asiento neurológico de la inteligencia general (Duncan *et al.*, 2000; Thompson *et al.*, 2001) (ver punto 3.1. del cap. 4.).

En opinión de Oross y Woods *et al.* (2003), el procesamiento de la información visual no puede ocurrir de una manera simple o *bottom-up*, sino que el resultado final vendría generado por un conjunto complejo de conexiones en *feedback* y en *feedforward* que implican múltiples áreas del córtex y múltiples dominios de la conducta.

2. 2. Indicadores cerebrales funcionales de velocidad-eficiencia neural y su relación con *g*.

En este apartado revisaremos los principales indicadores cerebrales que han sido relacionados con la inteligencia (CI), así como las teorías biológicas subyacentes.

2.2.1. Los PE cerebrales sensoriales y *g*.

En la utilización de los potenciales evocados como indicadores de actividad cerebral podemos distinguir dos enfoques: **(a)** el enfoque de los componentes sensoriales (Barret *et al.*, 1992a) o enfoque correlacional (Andrés, 1993) y **(b)** el enfoque de los componentes cognitivos (Barret *et al.*, 1992a) o enfoque experimental (Andrés, 1993).

El enfoque de los componentes cognitivos se asocia fundamentalmente con los estudios desde el paradigma de procesamiento complejo de la información, donde se manipulan variables de tarea y se utilizan estímulos complejos para elicitarse los parámetros de los ERP. Éstos se consideran variables dependientes biológicas y son utilizados como indicadores cronométricos del curso temporal del registro de los componentes endógenos específicos subyacentes a los procesos cognitivos; se asume que las funciones cerebrales están reflejadas en el patrón de las ondas de los componentes ERP y reflejarían la actividad del procesamiento cognitivo subyacente (Simson *et al.*, 1985).

En el enfoque de los componentes sensoriales se asocia con el paradigma simple del PI. El ERP es tomado como el reflejo de los fundamentos bioquímicos, genéticos, neuroanatómicos etc. que determinarían la inteligencia. Los ERP son considerados como el reflejo de un proceso perceptivo-sensorial activado. La latencia y amplitud de los ERP son utilizados como índices generales de la actividad cerebral provocada por un estímulo simple. En este enfoque, el interés se centra por medir la duración temporal del procesamiento global de la información.

En el estudio de las relaciones ERP/ inteligencia se ha observado mucha variabilidad (altas desviaciones estándar) en las variables estudiadas o rasgos del organismo dentro de una misma población examinada. El ERP es tomado como una medida de variabilidad de respuesta cerebral y se pretende correlacionar ésta con las diferencias individuales en inteligencia psicométrica (CI). Como señalan Plomin y Kosslyn (2001), la investigación de las diferencias individuales es correlacional, en el sentido de que se focaliza sobre el fenómeno natural de la variabilidad individual, no se manipulan variables, ni se examina el efecto de la variación por la manipulación.

Desde esta perspectiva, la utilización de los ERP sensoriales en el estudio de la inteligencia es congruente con los postulados de Galton relacionados con la medida (por las latencias de los ERP) de las diferencias individuales en la capacidad de discriminación que varían con las diferencias individuales en los umbrales sensoriales (Chiappa, 1990). En relación a ello, Reed y Jensen (1993a) citan varios trabajos de soporte para el estudio de la inteligencia mediante los VEP sensoriales que provienen de las investigaciones para la valoración de la agudeza visual en sujetos con retraso mental, en los que se observó incrementos de la latencia P100 (>130 ms) con respecto a los controles (Creel *et al.*, 1982).

Dentro de la perspectiva de los correlatos biológicos de *g*, la línea más neurofisiológica consiste en diseñar estudios con la finalidad de encontrar qué indicador electrofisiológico se puede asociar con la inteligencia psicométrica (CI) para dar soporte a la hipótesis del tiempo de la transmisión neural. Sin embargo, éstos

intentos no han estado exentos de una considerable controversia. Así, algunos autores como Mackintosh (1986;1998) expresan su escepticismo en el uso de las latencias de los ERP para estudiar los correlatos biológicos de la inteligencia; entre otros argumentos, considera que la inteligencia no puede reducirse a un único proceso neurofisiológico.

Revisaremos, sin ánimo de ser exhaustivos, los datos empíricos de los estudios psicofísicos con ERP sensoriales en la evaluación de las funciones de la información sensorial relacionadas con la inteligencia psicométrica (CI). Y en el enfoque de los componentes cognitivos nos detendremos en el componente P300.

(a) Componentes ERP sensoriales: En este enfoque se intenta relacionar los parámetros (la amplitud y las latencias) de los ERP con las puntuaciones de la inteligencia psicométrica (CI). Esta segunda aproximación, señalada por Jausovec (2001), presenta resultados menos conclusivos. Una breve revisión da cuenta de ello: Los trabajos iniciales de Chalke y Ertl (1965) fueron los primeros en demostrar asociación (de signo negativo) entre la latencia de los ERP elicitados con estímulos visuales y las puntuaciones de inteligencia psicométrica (CI) de aproximadamente $r = -0.30$. Estos resultados se vincularon a la hipótesis de la velocidad del PI en la cual se postula que los ERP son un reflejo de los correlatos neurológicos de la velocidad de procesamiento neural. Señalando que: *Esta velocidad de los procesos cerebrales medida por la latencia del componente ERP puede ser el sustrato neurobiológico de la inteligencia* (Ertl y Shafer, 1969).

Las réplicas posteriores de éstos trabajos, obtenidas a partir de la latencia de los ERP visuales (los estímulos eran flashes de luz que se presentaban repetitivamente), reportaron resultados contradictorios como: en los que no hallaron correlaciones (*i.e.*, Dustman *et al.*, 1972; Engel y Henderson, 1973); o correlaciones de signo positivo (Shagass, 1972; Shagass *et al.*, 1981).

Otro parámetro que ha sido relacionado con la inteligencia (CI) es la amplitud de los ERP, que presenta reducciones en algunas condiciones patológicas (Johnson, 1995, citado por Jausovec, 2001). Para éste parámetro, en general, se presentan resultados contradictorios en los que se observan tanto: correlaciones positivas entre las amplitudes ERP visuales y el CI (*i.e.*, Rhodes, Dustman y Beck *et al.*, 1969); como negativas (*i.e.*, Barret y Eysenck, 1994). Los intentos de explicar la relaciones entre las amplitudes de los ERP y la inteligencia no son conclusivos y la interpretación del significado de las amplitudes permanece sin resolverse en la literatura.

Las últimas revisiones de los trabajos con ERP, incluida la efectuada por Callaway (1975) y Robinson (1993), señalan que la mayores divergencias o posibles causas de la disparidad de los resultados es debida a las diferencias metodológicas derivadas de: las diferentes muestras de sujetos utilizados, ya que éstas diferían en edad,

tamaño y por la utilización de sujetos normales y con retraso mental; la definición operacional de la latencia y los problemas relacionados con el proceso utilizado para identificación de los componentes ERP, por ejemplo, el equipo de Ertl utilizaba histogramas de frecuencia para la medida de los componentes y el criterio para designarlos es por el orden de aparición de éstos. Éste procedimiento ha sido puesto en duda por varios autores (*i.e.*, Callaway, 1975).

También, señala Callaway (1975) que las divergencias en los estudios fueron debidas a: las técnicas de registro, por ejemplo la diferente colocación de los electrodos (monopolar o bipolar); por la intensidad y tipo de estimulación (visual y auditiva); a las latencias estudiadas (cortas, medias o largas), por ejemplo, en los estudios iniciales con los ERP visuales, normalmente utilizaban potenciales con latencias largas, que no estaban relacionadas con las vías visuales nerviosas o con los generadores de los VEP. De este modo-señalan Reed y Jensen (1993 a)- Ertl y Shafer (1969) obtuvieron los registros de los VEP desde la colocación de los electrodos bipolar en el vértex de la cabeza y tomaron medidas de los potenciales de componentes tardíos (250 ms), que resultan ser más indicadores de procesos cognitivos que los componentes tempranos. En otros estudios (*i.e.*, Rhodes *et al.*, 1969) se les pedía a los sujetos que realizaran una tarea (*i.e.*, contar el número de los *flashes* de estimulación) y no hallaron diferencias significativas entre las latencia cortas de los ERP y el CI, dicotomizado en grupos de CI altos y bajos. Desde la perspectiva del PI sensorial, además de no resultar adecuada la introducción de variables de tarea en los estudios, la interpretación de los resultados se complica ya que podrían reflejar las influencias *top-down* de los procesos cognitivos.

En resumen, todas las revisiones efectuadas señalan que las contradicciones en los resultados pueden ser explicadas, en parte, por las diferencias procedimentales, que consecuentemente influyeron en el registro de la onda (latencia) de los VEP y, es lógico pensar, que se produjeran resultados dispares por los diferentes estudios. Las revisiones de estudios previos a los actuales efectuadas por Deary y Caryl (1993) y Stelmack y Houlihan (1995), donde examinaron especialmente la relación entre el CI y la latencia de los ERP exógeno, derivada de la presentación de una simple estimulación sensorial repetitiva de flashes de luz, concluyen que los datos de la correlaciones entre la inteligencia (CI) y la latencia ERP, derivada de éste procedimiento para elicitarla, no son fiables. En consecuencia, no queda claro el soporte para la hipótesis del tiempo de la transmisión neural procedente de éstos datos. También Vaughan *et al.* (1988) cita un estudio de Jeffreys (1977) en el que ya se sugirió que los generadores corticales activados por la presentación de un simple *flash* de estimulación pueden diferir de aquellos generadores activados en el CVP por el patrón reverso.

En la actualidad, parece ser que éste panorama se ha llegado a subsanar con la utilización de técnicas estandarizadas como los patrones de estimulación con tableros de cuadros reversos, colocación de electrodos sobre le CVP, estudio solo de las latencias cortas de los VEP (*i.e.*, la latencia pico del P100 hacia los 100 milisegundos post-estímulo) que, conjuntamente con el avance de los modernos sistemas computerizados de análisis y registro, ha permitido un tratamiento de los datos más preciso. De este modo, utilizando el análisis de los ERP producido mediante el promediado del patrón reverso, Reed y Jensen (1992) hallaron especialmente unas correlaciones negativas $r = -0.21$ ($p = 0.010$) entre la latencia corta (conducción neural rápida) de la onda positiva del componente P100 y el CI(AMP). Porque, según Stelmack *et al.* (2003), hay cambios mínimos de luz en el patrón reverso de los VEP, y la efectividad del estímulo es la frecuencia espacial. En un reciente estudio, utilizando los mismos procedimientos, se observó un efecto similar (Burns, Nettlebeck y Cooper, 2000, citados por Stelmack *et al.*, 2003). De igual modo, y con el mismo procedimiento, Tan *et al.* (1993) halló correlaciones inversas significativas entre los parámetros del patrón reverso de los VEP (latencias y amplitudes) y la inteligencia (test de Gf de Cattell). Sin embargo, en un estudio de comparación de medias, Cosculluela (1990) no halló relación entre la inteligencia (CI)(test Gf de Cattell) y las latencias de P100 de los VEP.

Los estudios iniciales con ERP inspiraron el desarrollo por Hendrickson y Hendrickson (1982), de dos nuevas medidas con ERP auditivos: **(1)** la medida de cinta (*string length*), derivada de la *complejidad* de la onda ERP que se refiere a la longitud total de la línea de la onda del ERP resultante del promediado de una serie en ensayos o el período de tiempo concreto. Establecen que una mayor complejidad de onda (mayor longitud de cinta) se corresponderá con CI altos; **(2)** la medida de la varianza media de los distintos puntos del ERP total se considera que es una medida de la errores de transmisión neural y se hipotetiza que una mayor varianza correlaciona negativamente con CI bajos.

El rango de la correlaciones reportadas entre las medidas de longitud de cinta asociadas con la complejidad de los ERP y las puntuaciones de CI va desde: las altas correlaciones positivas ($r = 0.72$) halladas por Hendrickson y Hendrickson (1980, 1982) con CI del WAIS; a las modestas correlaciones aportadas por Blinkhorn y Hendrickson (1982) con el CI de las AMP; pasando por las correlaciones cercanas a cero (*i.e.*, Barret y Eysenck, 1992b, 1994; Burns, Nettlebeck y Cooper, 1996) hasta las correlaciones negativas o en dirección opuesta (*i.e.*, Bates, Stough *et al.*, 1995; Bates y Eysenck, 1993).

La diversidad observada de resultados puede ser explicada, en parte, por las desviaciones metodológicas y, particularmente, por las características de la medida

de longitud que ha sido criticada por su dependencia de la amplitud del ERP (Burns, Nettelbeck y Cooper, 1997). Las críticas también provienen de los estudios en los que los componentes de los ERP se relacionan igualmente con la inteligencia fluida que con la cristalizada (Shucard y Horn, 1972). Así, Widaman *et al.* (1993) hallan que las medidas de amplitud y longitud de cinta, registradas mediante la ejecución de una tarea cognitiva elemental, estuvieron más relacionadas con la inteligencia cristalizada (Gc) que con la fluida (Gf). Stough *et al.* (1990) también hallaron correlaciones entre las medidas de longitud de cinta ERP y el CI verbal del WAIS-R.

De igual modo, Hendrickson (1982) halló altas correlaciones entre las medidas de cinta de los ERP con los subtests verbales del WAIS de información y vocabulario, los cuales están más relacionados con la inteligencia cristalizada. Similares resultados fueron hallados por un estudio de Vigil y Andrés (1996) donde los parámetros de los ERP longitud de cinta y la amplitud N100-P200 (al componente P2 se le supone indicador de velocidad de transferencia del input desde los registros sensoriales a la MCP), correlacionaron significativamente con la capacidad verbal y la numérica de las escalas PMA de Thurstone y, no correlacionaron la medida de cinta con los test no verbales de Gf.

En la literatura se apunta que las posibles explicaciones para estos resultados serían que, al ser elicitados los ERP mediante el uso de determinadas tareas, puede ser que se estén explorando aspectos de la memoria de trabajo que está asociada con la capacidad verbal (Gc). Estos indicadores ERP podrían presentar o estar reflejando cierta sensibilidad a procesos de memoria o atencionales en los estadios iniciales del PI, ya que al utilizar tareas (*i.e.*, atender tonos), la correlación puede deberse más a efectos *top-down*. De este modo, se ha valorado que el constructo de la atención podría ser la causa o modular la relación entre la inteligencia y la medida de la complejidad de los ERP auditivos (Mackintosh, 1998). Otra de las explicaciones para los resultados de estos estudios, es la hipótesis del *arousal*/cerebral (Robinson, 1993) asociado con las diferencias en personalidad (introversión-extraversión).

Finalizaremos esta revisión con la valoración que realiza Deary (2000a) de las medidas de los ERP de longitud de cinta y de la varianza, cuyos parámetros considera especulativos. Señalando que son indicadores pobres del constructo de la eficiencia neural, por lo que ambas medidas están lejos de ser indicadores fiables de *g*.

(B) Componentes cognitivos de los ERP: La latencia del componente endógeno P300 está considerada como un índice de velocidad del procesamiento cognitivo y, más específicamente, un índice de la velocidad de categorización o del tiempo de evaluación de los estímulos y de los procesos de toma de decisiones (Kutas, McCarthy y Donchin, 1977, citados por Vernon *et al.*, 2000).

En los estudios desde el enfoque del PI complejo, se observa que la latencia P300

se incrementa sistemáticamente con la complejidad de la tarea (Polich y Martin, 1992) y ha sido relacionada con los TR (McGarry-Roberts, Stelmack *et al.*, 1992) en el estudio de la hipótesis de la velocidad eficiencia del PI. Lo que se traduce en que los sujetos con CI mayores son capaces de tomar decisiones más rápidamente que aquellos con un menor CI. La hipótesis de trabajo de éstos estudios radica en la razonable asunción de que cuando un sujeto procesa la información rápidamente está en posición de adquirir más información y, en consecuencia, de orientar su atención y de organizar mejor sus respuestas (Zurron y Díaz, 1998).

Sin embargo, la relación entre la amplitud de la P300 y la inteligencia es menos clara. La amplitud P300 indica la cantidad de información extraída por el sujeto durante el procesamiento cognitivo (Johnson, 1988, citado por Vernon *et al.*, 2000), y, por lo tanto, se establece que los sujetos con una mayor inteligencia presentan amplitudes mayores. Desde la teoría de la adaptabilidad neural - según Vernon *et al.* (2000)- también es posible que los sujetos con una mayor inteligencia utilicen más eficientemente sus recursos cognitivos y por ello reducen la amplitud de la P300. Es decir, tenemos dos posibles interpretaciones: una de ellas es que un CI elevado se traduciría en amplitudes mayores que se interpretarían, a su vez, como la fuerza interna del proceso por un número mayor de neuronas activas; o también es posible interpretar que un CI elevado necesitará menos neuronas activas para presentar la misma eficiencia y, en consecuencia, reducirá la amplitud en algunas condiciones. Ésto permanece sin resolución en la literatura precisamente por dificultades de interpretación. Según Vernon *et al.* (2000) los resultados indican una consistente y replicable relación negativa entre la latencia del P300 y la inteligencia (CI) mientras que las conclusiones para el significado funcional de la amplitud P300 están todavía pendientes.

En conjunto y para finalizar, podemos resumir que los resultados de los estudios con los ERP en inteligencia se caracterizan por presentar una gran variabilidad y son menos concluyentes que los hallados en los estudios donde se ha relacionado actividad del cerebro en la resolución de problemas complejos en un largo período de tiempo, como los hallados con el índice del metabolismo de la glucosa, donde los resultados, parece ser, validarían mejor la teoría de la eficiencia neural que describiremos a continuación.

2.2.2. Teorías biológicas subyacentes.

Desarrollaremos brevemente las ideas de los principales modelos teóricos explicativos para justificar el significado de las relaciones ERP y la inteligencia (CI). En la actualidad, aunque no se dispone de una teoría general de la actividad cerebral, entre la teorías fisiológicas de la inteligencia más formuladas y contrastadas tenemos: el modelo de la eficiencia neural de Hendrickson y el modelo de la adaptabilidad neural

de Shafer (Shafer, 1982).

2.2.2.1. La teoría de la adaptabilidad neural.

El índice de adaptabilidad neural de Schaffer (1982) derivó de la observación de los efectos de la amplitud en los estudios de atención selectiva, en los que se describen amplitudes mayores ante estímulos inesperados y amplitudes menores ante estímulos frecuentes o predecibles. Aplicó éste fenómeno al estudio de la inteligencia, sustentando biológicamente dicha relación por la cantidad de neuronas activadas en respuesta a un estímulo que se reflejará en las variaciones en el registro de las amplitudes promedio de los ERP.

Así, hipotetiza que el cerebro de los sujetos más inteligentes necesitaría menos neuronas (menor amplitud) en procesar y predecir estímulos esperados y, por contra, necesitaría un mayor número de neuronas activas (mayor amplitud) en procesar los nuevos o inesperados y que las diferencias individuales en las puntuaciones de inteligencia (CI) estarán relacionadas con la adaptabilidad neural, y ésta estará, a su vez, relacionada con las diferencias en la capacidad individual para modular la amplitud. De manera que los sujetos más inteligentes presentaran una mayor adaptabilidad neural, es decir, regularan mejor los recursos cerebrales, necesitando menos energía neural que los sujetos menos inteligentes.

Los estudios de Shafer (1982) presentaron altas correlaciones entre las puntuaciones de CI y los cambios de las amplitudes con estímulos esperados. Pero los trabajos efectuados por varios autores (*i.e.*, Vogel *et al.* 1987; Barret y Eysenck, 1993) no replicaron la hipótesis de la adaptabilidad neural, señalando que el paradigma de Shafer *et al.* lo que estaría evaluando es el fenómeno de la reducción de la amplitud o el índice de habituación.

2.2.2.2. La teoría de la eficiencia neural de Hendrickson.

La teoría de la eficiencia neural (A. E. Hendrickson, 1982; D. E. Hendrickson, 1982) constituye una de las teorías principales para la explicación de las correlaciones EEG-inteligencia en términos de los efectos de la transmisión neural de errores en el procesamiento de la información y en las respuestas EEG a la estimulación sensorial para la explicación de las diferencias en *eficiencia neural*.

La *eficiencia neural* es definida en términos de la transmisión de errores que causan la variabilidad en la velocidad de transmisión de los impulsos neurales. La hipótesis de los trenes de pulsos (*pulse-train*) se basa en la idea de que la información se transmite en forma de impulsos nerviosos codificados y transmitidos en secuencias discretas o *trenes* seguidas de intervalos entre los impulsos. Durante ésta transmisión de la información, que se realiza por moléculas de RNA, pueden producirse errores de reconocimiento.

La teoría postula que las diferencias individuales en la variación de los errores de transmisión son los responsables de la variabilidad en las respuestas de los ERP. Por el efecto del promediado se anula la actividad provocada por el ruido biológico aleatorio produciéndose una onda ERP característica que refleja la cantidad de información procesada por el sistema neural. De manera que el sistema con una mayor cantidad de errores de transmisión presentará más fluctuaciones aleatorias y una menor complejidad/amplitud de onda en el registro ERP, presentando mayor variabilidad intraindividual que se traduce en más errores en la transmisión que estarían asociados a CI bajos.

En síntesis, se postula que una velocidad y eficiencia en la transmisión neural libre de errores incrementaría la inteligencia (Hendrickson, 1982). Y, por lo tanto, las diferencias en la variación de errores en los ERP puede explicar las diferencias en las correlaciones observadas entre los ERP y las puntuaciones de CI.

Las versiones de los modelos basados en la teoría de Hendrickson son: **(1) el modelo biológico de Eysenck** (1982, 1985, 1986), en el que subyace la idea del concepto de *inteligencia biológica*, postulado por éste autor, para referirse a los determinantes biológicos de la inteligencia general en términos de la *velocidad y la eficiencia neural* del procesamiento de la información. Postula que la inteligencia general está en función de la fidelidad de la velocidad de transmisión de las señales (mensajes) codificadas en forma de una serie de trenes de pulsos (impulsos neurales) por un sistema nervioso eficiente. Así, el incremento en la *velocidad* del procesamiento es el resultado de una mayor *eficiencia* del sistema nervioso, comprendida por una menor *ratio* de error en las transmisión de los impulsos nerviosos.

Su modelo se fundamenta en la ley de Hick en base al funcionamiento binario de la unidades neuronales, en el que se puede establecer un paralelismo con los modelos matemáticos de la probabilidad de errores en la transmisión información (señales), en los que la distribución de los errores refleja la del ruido, cuya función- simplificada al máximo- toma dos valores: igual a 0 si no hay error e igual a 1 si lo hay. Desde este punto de vista, un sistema nervioso *biológicamente inteligente* presentará una mayor probabilidad de transmitir la información con fidelidad, libre de errores, lo que se traducirá en una velocidad de transmisión rápida, postulada como el sustrato biológico de la inteligencia general.

(2) Otra de las explicaciones teóricas es la hipótesis de las diferencias individuales en la mielinización cerebral de Miller (1994), cuyo razonamiento está basado en **la hipótesis en la mielina** (Miller, 1994) y, en esencia, es que una menor mielinización puede ser el origen de los errores de transmisión de las señales en el funcionamiento del sistema nervioso que se vería reflejado en la variabilidad de las medidas de la eficiencia de los procesos cerebrales como los ERP. De manera que conjetura que el

grado de mielinización del cerebro puede ser una base biológica importante en el estudio de las diferencias individuales en inteligencia (CI). Así, los cerebros más eficientes cometerán menos errores por una mayor mielinización, presentarán latencias cortas en los ERP y velocidades de conducción del procesamiento más rápidas, asociados con un CI alto.

(3) Otra de las propuestas es **la teoría del arousal cerebral** (Robinson 1997, 1998), que se fundamenta en que las variables derivadas de la actividad espontánea de los EEG son índices de arousal cerebral. La teoría del arousal, además de enfatizar en los aspectos de la eficiencia de la transmisión de la información, relaciona la inteligencia biológica con aspectos energéticos del cerebro. En ella postula que el *arousal cerebral* influencia el sistema neurológico de la información que regula la memoria de trabajo, la atención y los procesos elementales de transmisión de la información. Derivado de ello, establece que un grado intermedio de arousal cerebral (sinónimo de activación) es óptimo para la transmisión neural de la información en la base de la inteligencia biológica. De manera que un aspecto determinante en las diferencias individuales en la inteligencia sería la capacidad para obtener un grado de arousal óptimo en función de la tarea a realizar. Así propone explicar la variabilidad de los TR y de los ERP desde ésta teoría.

Este autor apoya sus tesis en una serie de estudios que relacionan la sensibilidad para desarrollar arousal (*arousability*) en las bases biológicas de la personalidad y el temperamento efectuados por autores como Gray o Zuckerman entre otros. También indica que se ha observado que las diferencias de sexo en el factor de arousal cerebral demuestran que hay relación entre intelecto y temperamento (Robinson, 1997, 1998).

Para finalizar señalaremos que las teorías biológicas si bien permiten la integración de los datos tanto conductuales como fisiológicos en el estudio de la inteligencia y la personalidad, sus postulados han sido muy criticados desde algunas perspectivas teóricas cognitivas (*i.e.*, Humphreys y Revelle, 1984) argumentando que estos modelos se caracterizan porque pasan del nivel conductual al neuronal sin especificar los niveles intermedios de explicación como el cognitivo. Y consideran que el constructo de *la eficiencia neural* es demasiado abstracto y de un nivel de generalidad elevado. Neubauer (1995) es quien señala que el concepto de la eficiencia neural permanece en una fase descriptiva, estancado en las correlaciones negativas entre las puntuaciones de inteligencia (CI) y los índices de actividad cerebral (también en situación de demandas cognitivas), puesto que el constructo de la eficiencia neural no puede explicar causalmente tales correlaciones. Además, ha de tenerse en cuenta que la difícil tarea de valorar e interpretar los resultados de los estudios entre la inteligencia (CI) y los indicadores de los ERP se produce fundamentalmente por el hecho de carecer del referente de una teoría general de la actividad cerebral que

sirviera de criterio homogéneo, a partir del cual, se pudieran contrastar los resultados, muchas veces contradictorios entre sí.

2. 2. 3. El índice de velocidad de Conducción Nerviosa (VCN).

Los estudios para examinar las relaciones entre la eficiencia de la transmisión neural y las puntuaciones de inteligencia (CI) se iniciaron en Canadá por el equipo de Vernon y colaboradores con el desarrollo de una medida de la velocidad de conducción nerviosa en el nervio periférico mediante un índice que lleva el mismo nombre (VCN) (*nerve conduction velocity*). Posteriormente estos estudios fueron continuados en una medida estimativa de la VCN en el tracto cerebral por Reed y Jensen (1991, 1992).

El interés por este indicador fue debido principalmente a la naturaleza no cognitiva y fisiológica de la VCN, ya que suponen que hallar una relación entre el indicador VCN y las puntuaciones de CI presentaría evidencia de que el CI puede ser medido y explicado, al menos en parte, por mecanismos puramente neurales (Vickett y Vernon, 1994).

Antes de pasar a revisar los estudios sobre la VCN, para un mayor conocimiento, describiremos las principales técnicas estandarizadas utilizadas para la medida de la VCN periférica en investigación neurológica y los principales factores que influyen en el registro de la VCN. Aunque nuestro objetivo es hallar un índice de la VCN en el cerebro, no es posible olvidar que gran parte de la investigación se ha realizado en la medida del nervio periférico y todo el volumen de información generado sobre VCN periférica en neurología debe de tenerse en cuenta a la hora de valorar metodológicamente los estudios de la literatura de la VCN periférica y la inteligencia (CI).

Tenemos especial interés en mencionar un estudio realizado dentro del ámbito deportivo como el antecedente de la presente tesis doctoral. Así, en el estudio realizado por Porta, Bonastre, Cos y López de Viñaspre (1995) *La valoración de los movimientos rápidos y coordinados. Su interrelación y capacidad de selección de talentos deportivos*, fueron utilizados los tiempos de reacción (TR) como una medida indirecta de la VCN, basándose en los estudios, que aunque no son concluyentes, mostrarían una relación de dependencia entre y la velocidad de reacción (VR)(en nuestra terminología es el tiempo de decisión) y la VCN periférica (*i.e.*, Korth *et al.*, 1988; Voss y Kreusse, 1991; Kamen y Taylor 1984; Lehmann, 1992, citados por Porta, Bonastre *et al.*, 1995).

La velocidad de conducción nerviosa, el TR y el tipo de fibra muscular son los factores neuromusculares fundamentales para la predicción del rendimiento deportivo (Porta *et al.*, 1995). Aunque la variable ejercicio físico también puede ser una

covariante para la VCN periférica (Reed, 1993). También, y según Sergienko (1983, citado por Voss y Kreuse, 1991), la coordinación de los movimientos simples tiene un marcado carácter genético. El origen genético de la VCN fue también postulado por Reed en 1984 como veremos.

Para finalizar también mencionaremos unos breves antecedentes históricos en los que, según Kandel (1997), la investigación fisiológica del sistema nervioso comenzó a finales del XVIII cuando Luigi Galvani descubrió que el músculo excitable vivo y las células nerviosas producen electricidad. En el siglo XIX, Emil Du Bois-Reymond, Johannes Müller y Hermann von Helmholtz establecieron las bases de la electrofisiología al descubrir que la actividad de una célula nerviosa afecta a la actividad de otra célula de modo previsible.

Así, los primeros estudios sobre la medición del tiempo de conducción neural fueron el trabajo llevado a cabo por Helmholtz (1850) sobre la velocidad de conducción nerviosa. Este experimento sentó las bases sobre las cuales iba a consolidarse la separación de la psicología experimental de la filosofía y de la fisiología, ya que hasta entonces había predominado la idea formulada por Müller de que la velocidad de conducción nerviosa era infinita, así como la velocidad de pensamiento (Carlson *et al.*, 1987, citado por Vigil, 1991).

Sin embargo, Helmholtz demostró que era posible medir la velocidad de conducción nerviosa indirectamente mediante los TR simples. Para ello procedió a estimular el nervio ciático de ranas registrando el tiempo que el impulso tardaba en recorrerlo y más tarde lo estudió en humanos (con menor exactitud), llegando a la conclusión de que la velocidad de transmisión nerviosa se podía calcular, era finita y se estimaba en unos 33 m/s.

Los estudios actuales encuentran unos valores normales en humanos adultos para la VCN periférica que dependiendo del nervio utilizado para su medida (*i.e.*, mediano, ulnar, peroneal, sural y tibial) y de los factores que influyen en la VCN (*i.e.*, edad, temperatura, altura, etc) se sitúan en torno a los 55.99 ± 3.3 m/s (Oh, 1993, citado por Rijdsdijk y Boomsma, 1997).

2.2.3.1. Técnicas para el cálculo de la VCN en el contexto de la clínica neurológica.

En humanos, la técnica de la VCN es de uso extensivo en investigación de la clínica neurológica, siendo éste contexto donde se aplica normalmente para el diagnóstico y estudio de enfermedades neuromusculares y neurológicas (Valls-Solé, Cruz Martínez *et al.*, 1995; Ludin *et al.*, 1995).

La VCN es un parámetro fisiológico básico definido como la velocidad con que un impulso (potencial de acción) viaja a lo largo de un nervio. La VCN periférica es una

medida estandarizada en procedimientos neurológicos y, su valor, sobre un determinado segmento del nervio periférico, se calcula dividiendo la distancia de conducción por la latencia entre el sitio de estimulación y el lugar de registro (Krarup, Steven *et al.*, 1992). Así, la VCN viene expresada por la distancia, como una *ratio* de respuesta de latencia (Stelmack *et al.*, 2003).

La velocidad de conducción sensorial y motora son parámetros importantes en la evaluación electrofisiológica de la (dis) función del nervio periférico (Krarup, *et al.*, 1992) y han sido estudiadas en pacientes con diversas enfermedades neurológicas para la delimitación de anormalidades en los parámetros (latencia y amplitud) de los componentes de potenciales de acción compuestos, que son prolongaciones de las latencias motoras distales y reducciones de la velocidad de conducción sensorial distal (Cruz-Martinez, Arpa *et al.*, 1995; Robinson, Rubner *et al.*, 1993). También ha sido utilizada la VCN como variable dependiente en tratamientos y terapias farmacológicas en neuropatías como la diabetes caracterizadas por un decrecimiento de la velocidad de conducción nerviosa. Otra área de aplicación ha sido la medicina laboral.

(a) Técnicas electroneurográficas para el registro de la VCN en neurología.

Comentaremos los principales métodos utilizados en neurología para la estimación de la velocidad de conducción nerviosa motora y sensorial. Para lo que seguiremos a Ludin, Caruso y Messina (1995) en la siguiente exposición:

(a.1) VCN motora: El método para su estimación es muy sencillo: el nervio es estimulado mediante pulsos eléctricos y se registra el tiempo requerido para elicitar los componentes del potencial de acción (PA) a lo largo del nervio. La velocidad de conducción (v) puede ser calculada en m/s (metros por segundo) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V = d / t$$

v =velocidad de conducción en el nervio periférico.

d =distancia entre el electrodo de estimulación distal y el electrodo registrador.

t =latencias.

Normalmente se distinguen tres componentes de los potenciales de acción nerviosos: el principio y el pico de la VCN miden la velocidad de conducción de los axones nerviosos de conducción rápida (de mayor diámetro) y los axones nerviosos de conducción media (de diámetro medio) respectivamente; y el final de la VCN implica la conducción de los axones de conducción lenta (de diámetro pequeño) (Ma y Liveson, 1983; Oh, 1993). En general, puede decirse, que las fibras de mayor calibre conducen el impulso con mayor velocidad, hasta 120 m/s, mientras que las más delgadas sólo alcanzan 0.5 m/s.

(a.2) VCN sensorial: Para su determinación se utilizan dos técnicas principalmente: la ortodrómica y la antidrómica. Con la primera, los nervios sensoriales se estimulan distalmente y el registro se efectúa próximo al tronco nervioso. Ésta es la dirección normal de la conducción nerviosa. Con la técnica antidrómica se estimula el tronco nervioso y la actividad evocada es registrada distalmente desde un dedo. De este modo, la conducción de las fibras sensoriales sigue una dirección impropia.

(a.2.1) Determinación de la VCN sensorial mediante SEP: La técnica para su determinación está basada en los potenciales reflejos o potenciales evocados cerebrales somatosensoriales (SEP). Los SEP son señales eléctricas registradas desde el cráneo sobre la parte más relevante del córtex (parietal) cerebral somatosensorial siguiendo la estimulación de algunos nervios periféricos. Cuando se estimula un nervio periférico, los potenciales evocados pueden registrarse desde la médula espinal y el cerebro mediante electrodos de superficie. La mayor amplitud de los potenciales corticales se encuentra en la zona postcentral contralateral al estímulo. Para poder extraer estos potenciales evocados de otras actividades eléctricas corticales y de ruidos se utilizan los promediados electrónicos.

Estos métodos para la determinación de la VCN sensorial por los SEP son, por lo general, indudablemente inferiores al registro ortodrómico o antidrómico de los potenciales de acción nerviosos y, por lo tanto, no son recomendables como un procedimiento rutinario para este propósito (Ludin *et al.*, 1995). Además, con este procedimiento como que a menudo se estimulan los troncos nerviosos mixtos, no puede saberse con certeza la velocidad de las fibras sensoriales que ha sido determinada en realidad. Con lo cual, el uso de la técnica de los SEP para nuestros propósito de obtener un índice de VCN cerebral, fue descartada.

(a.3) Nervios periféricos: No vamos a realizar una descripción neuroanatómica de los nervios periféricos. Los nervios periféricos correspondientes a los miembros de la extremidades superiores son: el axilar, el radial, el mediano y el ulnar. Los nervios tibial, peroneo y sural corresponden a los miembros de las extremidades inferiores.

Nos detendremos en el nervio mediano periférico del brazo que es el que ha sido utilizado para la medida de la VCN periférica en la mayoría de los estudios (*i.e.*, Vernon y Mori, 1989, 1992; Reed y Jensen 1991). El nervio mediano de las extremidades superiores es un nervio mixto (motor y sensorial) que tiene velocidades de conducción similares a las de los nervios sensoriales de los miembros inferiores (Oh, 1993).

Vamos a comentar el proceso de estimulación eléctrica y registro de un nervio periférico a modo de ejemplo ilustrativo (**Figura 4.14.**). Seguiremos para ello un estudio de Nilsson (1992) en el que utilizó el nervio mediano para realizar la medida de la VCN:

Estimulación: Los nervios son estimulados eléctricamente usando ondas-cuadradas, pulsos de corriente constante de 0.1 ms de duración. La corriente se libera a través de electrodos de superficie montados en un molde de plástico (2.5 cm entre el ánodo y el cátodo). Para la estimulación del nervio periférico se colocan los electrodos en la fosa cubital. En el experimento que comentamos, fueron colocados 6 electrodos sobre la superficie de la piel con 2.5 cm de separación, a lo largo del nervio mediano y en el codo.

Registro: Para los registros sensoriales del nervio mediano fueron colocados dos electrodos de anillo, separados por 1 cm, cerca de la punta del dedo III y se colocó un electrodo de tierra distal del electrodo estimulador. Los potenciales sensoriales y motores fueron amplificados por un amplificador de bajo ruido, utilizando una banda ancha de 2-2000 Hz.



Fig.4.13.- Puntos de estimulación y registro para la medida de la VCN en un nervio periférico. Tomado de Ludin *et al.* (1995).

2.2.3.2. Factores que influyen en registro de la VCN en neurología.

Expondremos los principales factores que influyen en la variabilidad de los valores de la velocidad de conducción nerviosa (VCN).

(a)Temperatura: Señalan Franssen *et al.* (1994) que la variación de la temperatura de la piel en los miembros interfiere en una valoración precisa de la variables de conducción nerviosa que normalmente se determinan (*i.e.*, latencia distal, velocidad de conducción nerviosa, duración, área y amplitud del potencial de acción nervioso compuesto); se han demostrado cambios por la variación de la temperatura en la velocidad de conducción de 1.2 a 2.4 m/s en la fibras nerviosa sensoriales y motoras humanas (Ludin y Beleyer, 1977). Durante el enfriamiento por inmersión de las extremidades en agua fría, la velocidad de conducción nerviosa decrece y, la

latencia, duración y área de los PA compuestos se incrementan mientras que ocurre lo contrario durante el calentamiento por inmersión en agua caliente o infrarrojos. El estudio del efecto de la temperatura en la VCN es complejo porque los nervios contienen fibras con diferentes velocidades de propagación; se estima que los 36°C es la temperatura adecuada para obtener una buena estimación de las variables de conducción nerviosa (Frassen y Wieneke, 1994). En Ludin *et al.* (1995) se señala que por el efecto del incremento de la temperatura, la amplitud se reduce. Rivner *et al.* (1990) encuentra una correlación inversa entre la temperatura y las latencias distales de los nervios peroneo sural y tibial.

(b) Edad: La VCN está en función de la edad. En la literatura está bien documentado que la VCN y las amplitudes sensoriales decrecen con el incremento de la edad (Buchthal y Rosenfalck *et al.*, 1974, citados por Stetson *et al.*, 1992); se ha observado que el decrecimiento en la VCN parece iniciarse después de los 30 años, momento en que los valores son ya un 5 % más bajos que en niños de 4 a 10 años (Cruz Martínez *et al.*, 1977). Por ejemplo en el nervio mediano, la ratio de decrecimiento de la VCN por década es de aproximadamente 4 m/s (Oh, 1993). El decremento en la VCN es atribuido a un decrecimiento numeroso de las fibras nerviosas, a una reducción en el diámetro de las fibras y a cambios en las membranas de las mismas (Mayer, 1963, citado por Stetson *et al.*, 1992).

(c) Miembros superiores e inferiores: Tanto la velocidad de conducción motora (VCM) como la velocidad de conducción sensorial (VCS) son más bajas en el miembro inferior que en el superior, concretamente la VCS es aproximadamente 10 ms (milisegundos) menor en la pierna que en el brazo para segmentos equivalentes de los miembros (Behse y Buchthal, 1971). Por otra parte, Cress, Taylor *et al.*, (1963, citado por Tan *et al.*, 1995) sugiere diferencias de lateralización en VCN, siendo más elevada para el brazo derecho que en el izquierdo en sujetos diestros. Sin embargo hay resultados contradictorios en estos estudios.

(d) Segmentos próximos y distales: Señala Ludin *et al.* (1995) que ya desde los primeros estudios de Helmholtz, la mayoría de los autores encuentran que la velocidad de conducción sensorial es más rápida en los segmentos próximos al nervio que en los distales y que, en cualquiera de ellos, es aproximadamente 5 m/s más rápida que la velocidad de conducción motora (Buchthal y Rosenfalck *et al.*, 1966, citados por Cruz Martínez, 1977).

(e) Altura y sexo: Los estudios encuentran una correlación negativa (inversa) entre la longitud del cuerpo y la velocidad de conducción nerviosa motora y sensorial (Ludin *et al.*, 1995). Un estudio de Rivner, Swift *et al.* (1995) realizado con una muestra de sujetos normales, en un rango de edad de 17 a 77 años y una altura de 115 a 203 cm, se les midieron la VCN de los nervios sural, peroneo, tibial y mediano.

Correlacionaron positivamente la altura con las latencias distales de todos los nervios estudiados y hallaron una correlación inversa entre la altura y la VCN de los nervios sural ($r=-0.71$), peroneo ($r=-0.68$) y tibial ($r=-0.50$), a excepción de la VCN estimada para el nervio mediano que no correlacionó con la altura; concluyen que la altura es un factor determinante en la variabilidad en la VCN. De manera que los la medida de la VCN debe de corregirse por el efecto de la altura, especialmente en sujetos con extremidades pequeñas o cortas, ya que, de no controlarse, puede llevar a interpretaciones erróneas en el diagnóstico por los valores normales de la VCN.

Hyllienmark y Ludvigsson (1995) realizaron un estudio para la determinación de los valores normales de VCN de los nervios mediano, peroneo y sural, en una muestra de niños y adolescentes (128 sujetos de 6 a 20 años) con alturas comprendidas entre 114-193 cm, que incluía el estudio de la VCN, amplitud y latencias distales. Mediante un análisis de regresión múltiple, sus resultados demuestran que tanto las velocidades de conducción motora como la sensorial estaban más correlacionadas con la altura que con la edad. Encontraron una estrecha correlación negativa entre la altura y VCN medida en el nervio peroneo (extremidad inferior) de $r=-0.40$, y contrariamente una relación positiva entre la altura y las VCN sensorial y motora del nervio mediano de $r=0.30$ y $r=0.20$ respectivamente. Así, hallaron que las velocidades de conducción motora y sensorial del nervio mediano se incrementaban con la altura. Éstos resultados- según estos autores- son difíciles de explicar y argumentan que ciertos cambios estructurales nerviosos, parecidos al espesor de los axones, posiblemente continúen durando después de la infancia y la adolescencia, ya que en éste período, la velocidad de conducción está influenciada por otros factores como, el diámetro del axón, el grosor de la vaina de mielina y la distancia internodo. Sin embargo, la relativa contribución de los diferentes factores explicativos no ha sido aún bien determinada en nervios humanos.

Robinson, Rubner *et al.* (1993) examinaron los efectos de la altura y el sexo en la VCN en un estudio en el que compararon una muestra de 54 hombres (con una media de edad de 60.2 años y una media de altura de 167 cm) con una muestra formada por 62 mujeres (con una media de edad de 62.2 años y una media de altura de 153 cm). Estudiaron los nervios mediano, ulnar, sural, peroneo y tibial. Analizando los datos brutos, las mujeres tienen significativamente velocidades de conducción más rápidas que los hombres para todos los nervios exceptuando el mediano motor; tres de las cuatro amplitudes sensoriales fueron mayores en las mujeres y dos de las cuatro amplitudes motoras fueron mayores en los hombres. Después del ajuste de los datos para la altura, la mayor parte de las diferencias en velocidad de conducción desaparece, mientras que las diferencias en amplitud persiste y concluyen que la mayor parte de las diferencias de sexo en VCN pueden ser explicadas por la altura,

mientras que las diferencias en la amplitud persisten a pesar de la corrección por la altura, temperatura y edad.

En otro estudio realizado con 105 sujetos por Stetson, Alberts *et al.* (1992) valoraron las asociaciones entre las medidas de la VCN testada en diversos nervios periféricos, el sexo, la temperatura y los factores antropométricos. Hallaron unos valores para VCN sensorial y motora en el nervio mediano de 60.2 ± 4.9 (m/s) y de 56.7 ± 2.9 (m/s) respectivamente. Sus resultados mostraban que la altura se asociaba negativamente con la amplitud sensorial de todos los nervios testados y positivamente con las latencias distales del nervio mediano, ulnar y sural. Para el nervio periférico sural, las mujeres presentan amplitudes y velocidades de conducción significativamente menores que los hombres. Señalan que el hecho de no encontrar asociación entre el sexo y las medidas de la VCN del nervio mediano o ulnar, no puede atribuirse a la correlación entre el sexo y la altura. Y que la hipótesis más plausible es que posiblemente en ambos sexos las amplitudes están correlacionadas con un factor anatómico o fisiológico que no fue medido por estos autores. Además, recomiendan que la medida del valor normativo de la VCN se segregue por sexos, como una medida subrogada por las diferencias anatómicas.

(f) Circunferencia del dedo: Stetson *et al.* (1992) cita un estudio de Bolton y Carter (1980) en el que se demuestra una correlación lineal negativa entre la circunferencia del dedo y las amplitudes sensoriales de los nervios mediano y ulnar para personas del mismo sexo; pero la amplitud sensorial registrada desde los nervio mediano y ulnar es mayor en mujeres que en hombres; sugieren que éstas diferencias de sexo son probablemente completamente debidas a que las mujeres tienen dedos con circunferencias más pequeñas. La asociación entre circunferencia del dedo y amplitud es probablemente relativa a la profundidad de los tejidos subcutáneos, que es el mayor determinante de la distancia entre los nervios digitales y el electrodo registrador.

(g) Error experimental: Según Ludin *et al.* (1995) las posibles causas del error son: fluctuaciones de la temperatura; inestabilidad del tiempo base; inadecuada intensidad de los estímulos; dificultades de determinación de los puntos de referencia sobre el potencial de acción; errores en la medida de la distancia; errores de lectura etc. En resumen, dos errores pueden sesgar la medida de la VCN: en el registro de la latencia; en la superficie de medida de la longitud del nervio (Oh, 1993). Otro de los posibles factores de confusión en la estimación de la VCN, es el control del nivel de ejercicio físico (Reed, 1993).

2. 2. 3. 3. Revisión de estudios sobre la VCN y la inteligencia psicométrica (CI).

Los estudios modernos sobre las relaciones entre la inteligencia psicométrica y el índice de la VCN parten de las ideas de Reed (1984) publicadas en una correspondencia científica *Mechanism for heretability of intelligence* en *Nature*.

This genetic variability, both in structure and amount of transmission proteins is, of course, hereditary from parent to offspring. This variability will affect nerve impulse transmission in the brain to some degree and in accuracy. It therefore sets limits on information processing rates. Data from mice support this interpretation, directly showing heredability of nerve conduction velocity and synaptic transmission time. This genetic control of information processing is, I submit, a sufficient basis for asserting that there is significant genetic determination of variation in human intelligence (Reed, 1984 p. 417).

Reed (1984, 1988) postuló que los mecanismos para la heredabilidad de la inteligencia están relacionados directamente con la velocidad de conducción nerviosa que sería un rasgo hereditario que explicaría parte de la variación genética en la inteligencia humana. Pero también sugirió que estos mecanismos no operan de manera aislada sino que el ambiente tiene sus efectos en la inteligencia humana.

Quizás sea necesario recordar que el funcionamiento y desarrollo de un circuito nervioso viene determinado por genes que portan la información de las secuencias correspondientes a todas las proteínas estructurales de transmisión (Kandel *et al.*, 1997). En los postulados de Reed se sostiene que la VCN y la inteligencia (CI) pueden estar correlacionadas como el resultado de la variabilidad genética en la estructura de las proteínas de transmisión de los impulsos nerviosos que marcarían los límites sobre la *ratio* de la velocidad del procesamiento de la información y, por lo tanto, de la inteligencia.

Las variaciones en la velocidad de conducción nerviosa también fueron postuladas por Reed y Jensen (1991, 1993a) como un posible mecanismo fisiológico para la explicación de las relaciones entre los TR y la inteligencia (CI) (ya que la VCN puede ser el sustrato neural del factor de velocidad de los TR). De manera que un incremento de velocidad de procesamiento neural podría incrementar la velocidad del PI y aparecer asociado con CI más altos; lo contrario tendría una secuencia inversa -decrecimientos en la velocidad cortical produciría decrecimientos en la *ratio* de velocidad de procesamiento- y se traduciría en un CI menor.

Estos autores también plantean que la hipótesis de la eficiencia neural puede ser probada sobre la medida de la VCN en un nervio periférico como una medida subrogada de la VCN en el cerebro, puesto que suponen que la VCN periférica estará implicada en la actividad cerebral asociada con la inteligencia elevada (CI). De manera

que esperaban que ambas velocidades de conducción (periférica y central) estuvieran correlacionadas entre ellas, ya que suponen que las propiedades del tejido neural puedan ser más o menos similares en las células nerviosas de ambos sistemas nerviosos.

Éstas hipótesis dieron lugar a que pudieran ser contrastadas mediante los estudios modernos sobre VCN. En 1990, Vernon hizo una revisión de varios estudios que ya datan desde 1920, donde, por sorpresa, se encontraban correlaciones altas entre la velocidad de conducción nerviosa y el CI, pero los métodos utilizados para medir la VCN eran muy primitivos y los resultados no se pudieron replicar más tarde. Cita unas de las primeras investigaciones en este área, que fueron las de Travis y Young (1930) en las que hallaron una correlación de 0.87 entre las medidas de capacidad mental y la velocidad de conducción medida en el arco del reflejo patelar, en las que se concluye que dan soporte a las hipótesis de Spearman por la presentación de un sustrato neurobiológico para el factor g . También cita el estudio de Rounds (1928) en el que halló una correlación de 0.51 entre la ejecución de varios tests de velocidad mental y el tiempo o latencia medido en el reflejo del tendón de aquiles en el que se señala que: *vemos que una capacidad de velocidad general está más o menos estrechamente asociada con el nivel de inteligencia* (Rounds, pp. 88, citado por Vernon, 1990).

En la **tabla 4.1.**, sistematizamos los resultados obtenidos de los pocos estudios sobre la literatura de la VCN y el CI que a continuación citamos. En 1992, Vernon y Mori presentaron dos estudios independientes en los que estudiaron las relaciones entre las medidas de inteligencia psicométrica, de velocidad de procesamiento (TR) y la VCN periférica. En el primero utilizaron una muestra de 85 estudiantes universitarios (45 mujeres y 40 hombres). Midió la inteligencia (CI) mediante la Batería Multidimensional de Aptitudes (MAB) (Jackson, 1984) y para la medida de la velocidad del procesamiento utilizaron los TR y la VCN periférica, que fue registrada desde tres segmentos del nervio mediano (muñeca-dedos, muñeca-codo y muñeca-axila) mediante la utilización de estimulación supramáxima empleando pulsos de corriente eléctrica de 0.2 ms. Obtuvieron así una medida de velocidad sensorial promediada entre las tres VCN computada por la latencia media y la distancia medida del nervio periférico.

Para examinar la relación VCN-CI en estos estudios se utiliza el primer pico de la VCN porque refleja la conducción de las fibras rápidas. Las intercorrelaciones entre los 10 tests de inteligencia y los 12 tests de TR y las 8 medidas de VCN fueron sometidas cada una a un análisis factorial. Se hallaron de este modo tres factores generales: un factor de inteligencia general (g_{CI}), un factor general de velocidad del procesamiento de la información (g_{RT}) y un factor general de velocidad de conducción nerviosa (g

VCN)(desde las tres medidas de VCN). Las correlaciones halladas entre los tres factores fueron: una correlación negativa de -0.28 para ($gRT-gVCN$), una correlación negativa de -0.44 entre (gTR y gCI) y una correlación positiva de (0.42; $p=0.01$) entre (gCI y $gVCN$). Los autores concluyen que la inteligencia (CI) puede estar asociada con la velocidad rápida de procesamiento y con una VCN periférica rápida.

A continuación, con muestra de 88 sujetos de ambos sexos (50 mujeres y 38 hombres), Vernon y Mori (1992) realizaron un segundo estudio idéntico al primero en cuanto a procedimiento excepto que se emplearon pocas tareas de TR y la medida de la velocidad de conducción fue tomada solo en el segmento (dedo-muñeca) del nervio mediano. Correlacionaron el índice (VCN) con el CI (MAB) obteniendo un valor positivo de 0.48 y hallaron una correlación negativa entre los TR y el CI de -0.45 y también fue negativa entre los TR con la VCN de -0.18. En ambos estudios las variables de edad y sexo no tuvieron efecto apreciable sobre las correlaciones derivadas y no hallaron diferencias de sexo en la media de los TR, VCN periférica y el CI. Replicando por lo tanto los resultados del primer estudio y dando soporte, mediante unas correlaciones moderadas, para las relaciones entre la VCN periférica y el CI. Hemos de anotar que los autores no aportan datos sobre si efectuaron la corrección por los efectos de la altura sobre los datos de la medida de VCN por sexos.

Sin embargo, otros estudios efectuados con el mismo propósito no obtuvieron evidencias de soporte como el de Barret, Daum y Eysenck (1990), en el que midieron la VCN en el nervio mediano (dedo-muñeca) de ambas manos con estimulación submáxima utilizando técnicas más avanzadas y las aplicaron a una muestra formada por 44 sujetos (14 mujeres y 30 hombres) comprendida en un rango de edad de 18-41 años. Para la medida de la inteligencia no verbal utilizaron el test (AMP) de Raven, en el que el grupo de los hombres puntuó de media directa 14.2 y las mujeres puntuaron 15.6. Los resultados no mostraron relación entre la VCN periférica y el CI (AMP), presentando una correlación negativa significativa de ($r=-0.44$).

Las críticas recibidas por éste autor fueron porque, en vez de utilizar estimulación *supramáxima* (un requerimiento para asegurarse que todas las fibras nerviosas están estimuladas en los nervios testados), utilizó estimulación *submáxima* y éste tipo de estimulación probablemente hizo variar la velocidad de conducción de la fibras nerviosas, ya que cada axón conduce a una velocidad diferente y con este tipo de estimulación solo se estimulan los axones de mayor diámetro (Kandel *et al.*, 1985, citados por Reed y Jensen, 1991) y por ello pueden no ser activadas todas la fibras nerviosas y, en consecuencia, se produce un VCN atípica.

Además de los estudios sobre las relaciones entre la VCN periférica y las puntuaciones de CI, también se ha investigado la relación entre los TR, la VCN

periférica, la VCN central y el CI. Reed y Jensen (1991) realizan un estudio con una muestra de 200 sujetos hombres comprendidos en un rango de edad de 18-25 años. Para el cálculo de la VCN periférica midieron solo el pico de la VCN en un segmento (muñeca -codo) del nervio mediano de brazo de la mano preferente (para escribir) mediante procedimientos neurológicos estándar. De manera que después de localizar los sitios de estimulación y registro óptimos, procedieron a incrementar el voltaje de estimulación suavemente hasta determinar el nivel de estimulación supramáxima (éste nivel de estimulación asegura que todas las fibras nerviosas del nervio mediano sean estimuladas) utilizando pulsos de corriente eléctrica de 0.05 ms. Emplearon métodos estadísticos en vez de experimentales para el control de los efectos de la temperatura del nervio, y corrigieron los efectos por la altura.

Los resultados no confirmaron la predicción inicial de Reed (1984) ya que no hallaron correlación entre la VCN periférica y el CI (AMP). Una de las críticas que recibió este estudio se debió al control inadecuado de la temperatura que se realizó estadísticamente en vez de físicamente ya que el control de la temperatura es imperativo y es visto como una de las causas más importantes de error procedimental que pueden afectar el registro de la VCN periférica.

A continuación describiremos el estudio original de Reed y Jensen (1991, 1992) en el que calcularon el índice de la VCN subcortical (sólo ésta es experimentalmente accesible a la medida), puesto que suponen que sería una medida indirecta o subrogada de la VCN cortical. Estos autores señalan que en el diseño de éste indicador se ha tenido que prescindir (necesariamente) de los factores, teóricamente, implicados en la velocidad de la transmisión neural: la organización cortical para la transmisión de la información y la velocidad neural en la transmisión sináptica, postulados como los determinantes de la inteligencia general (g). Así, en una muestra de 147 estudiantes hombres con una media de edad de 20.2 años aplicaron la medida del índice de la VCN neurovisual desarrollada por estos autores que consistía en dividir la longitud del cráneo por las medidas del tiempo de transmisión cerebral medido por las latencias P100 (y también para la N100) de los VEP. La VCN neurovisual calculada para cada sujeto fue de aproximadamente 2 m/s y correlacionaba ($r=0.26$; $p=0.002$) con el CI (medido por las AMP de Raven). Los resultados indicaban que los sujetos con velocidades de conducción más elevadas presentaban un CI medio también más elevado con lo que vendrían a dar soporte a la hipótesis de la velocidad de conducción neural rápida para la inteligencia general.

Sin embargo en una reciente estimación de la VCN subcortical, realizada por Stelmack, Knott *et al.* (2003) con una muestra de 54 mujeres con media 19.2 años, calcularon la VCN (en la vía auditiva) utilizando el procedimiento de la raíz cúbica del volumen cerebral (Schmidt-Nielsen, 1975) para la estimación de la longitud para los

BAEP (distancia); y la estimación del tiempo de transmisión neural se realizó mediante las latencias interpico de los BAEP. En su estudio no hallaron correlación entre las latencias de los BAEP y el CI (MAB) y, en consecuencia, concluyen que estos resultados no soportarían la hipótesis del tiempo de la transmisión rápida para la inteligencia general. Además, el índice VCN en la vía auditiva presentó una correlación negativa y significativa (bajas velocidades de conducción) con la inteligencia cristalizada (CI Verbal del MAB).

En otro de los intentos de hallar índices de velocidad en el cerebro, Reed y Jensen (1993b) también estudiaron la relación entre el CI y las VCN periférica y central mediante las latencias de los SEP. Suponen que la posible semejanza entre las fibras talámico-corticales de las vías sensoriales y las visuales puede ser explorada calculando la VCN por los SEP y comparándola con la VCN calculada por los VEP. Normalmente se observan tres potenciales SEP siguientes a la estimulación simple del nervio mediano en sujetos normales (Chiappa, 1990, citado por Reed y Jensen, 1993b). La N13 se genera en la región de la cuerda espinal cerebral (medula) y mide la latencia del tracto nervioso que esta fuera del cerebro; la N19 medida sobre el brazo contralateral a la región del córtex somatosensorial se genera en el tálamo, y finalmente, la P22 se genera en el córtex somatosensorial. La latencia de la N13 representa el tiempo de conducción periférica. Las diferencias de latencia entre el componente P22-P19 mide el tiempo para la señal de transmisión desde el tálamo hasta el córtex (parietal) sensorial y refleja tiempo de conducción cerebral como la latencia P100 de los VEP (Jensen, 1993). Los resultados de su estudio muestran que sólo la diferencia de latencias entre la P22-P19 correlaciona negativamente con la inteligencia no verbal (AMP) ($r=-0.22$; $p=0.013$). La latencia periférica N13 (muñeca-cuerda espinal cervical) no correlacionó con el CI. Estos resultados están en concordancia con el estudio previo en la misma población (Reed y Jensen, 1991), donde no fueron halladas correlaciones entre VCN del nervio mediano y CI.

Para probar los postulados de Reed en los que establece que la VCN sería la base neurofisiológica que explicaría la relación entre los TR y el CI, Reed y Jensen (1993a) examinaron las relaciones entre los TR y los índices de la VCN central y periférica.

Los resultados, contrariamente a los postulados de Reed, no exhibieron relación entre la VCN periférica y la VCN central y, los TR tampoco estuvieron correlacionados con la VCN central, aunque ambos indicadores se relacionan por separado con la inteligencia (CI). Estos resultados les sugirieron dos posibles explicaciones referidas a que haya dos grandes procesos neurofisiológicos independientes que afecten a la inteligencia y/o que las diferencias en los TR medios no son enteramente debidas a las diferencias en la VCN media.

TABLA 4.1.- Estudios de las correlaciones entre el índice VCN y la inteligencia psicométrica (CI).

Estudio	Muestra	Edad (rango)	VCN (segmento nervio periférico)	VCN media(m/s)	Control Temperatura	Test (CI)	r VCN-CI
Vernon y Mori (1992)	85 (H y M)	18-42 (24)	Periférica (Dedos a axila del nervio mediano)	63.9	Experimental	MAB g	0,42*
Vernon y Mori (1992)	88 (H y M)	18-42 (24)	Periférica (Dedos a axila del nervio mediano)	60.1	Experimental	MAB g	0,48*
Barret et al. (1990)	44 (H Y M)	18-41 (25,6)	Periférica (Muñeca a codo del nervio mediano)	39.7	Experimental	AMP Raven	NS
Reed y Jensen (1991)	200 (hombres)	18-25 (20,3)	Periférica (Muñeca a codo del nervio mediano)	67.9	Estadístico	AMP Raven	NS
Reed y Jensen (1992)	147 (hombres)	18-25 (20,3)	Central (vía visual) (VEP)	2		AMP Raven	0,26**
Wickett y Vernon (1994)	38 (mujeres)	20-30 (24,6)	Periférica (Dedos a codo del nervio mediano)	60.5	Experimental	MAB CIT	NS
Rijsdijk y Boomsma (1995)	312 (gemelos, H y M)	14,8-18 (16)	Periférica (Muñeca a codo del nervio mediano)	63.7	Experimental	AMP Raven	NS
Tan (1996)	43 (hombres)	18-21	Periférica (Brazo a dedos del nervio mediano)		Experimental	Test Gf de Cattell	0,54*
Tan (1996)	33 (mujeres)	18-21	Periférica (Brazo a dedos del nervio mediano)		Experimental	Test Gf de Cattell	-0,61
Rijsdijk y Boomsma (1997)	346 (gemelos, H y M)	16,4-19,5 (17,6)	Periférica (Muñeca a codo del nervio mediano)	59.5	Experimental	WAIS (CIT)	0,15*
Wickett et al. (1999)	47 (hombres)	20-35	Periférica (Axila a muñeca)		Experimental	MAB CIT	0,29
Stelmack et al. (2003)	54 (mujeres)	(19,2)	Central (vía auditiva) (BAEP)			MAB CI Verbal	-0,35

AMP, Matrices Avanzadas Progresivas de Raven; MAB, Batería Multidimensional de Aptitudes; WAIS, Escala de Inteligencia para Adultos de Wechsler; CIT (CI de la escala total); Test de Gf de Cattell, Test libre de Cultura de Cattell; M, Mujeres; H, Hombres.

Nota: Los datos del estudio Wickett et al. (1999) son tomados de la revisión de Vernon et al. (2000). En Stelmack et al. (2003) la $r = -0,35$ *

* $p < 0,05$; ** $p < 0,0017$

Uno de los estudios más recientes sobre VCN que se cita en la revisión de Vernon *et al.* (2000) es el de Wickett, Vernon, Brown y Broomme (1999) en el que se estudia nuevamente la relación entre la VCN (central y periférica) y el CI mediante varias medidas de VCN periférica tomadas desde diferentes puntos de registro y medidas de latencias del sistema nervioso central, los TR y el CI en una muestra de 47 hombres. Hallaron resultados inconsistentes entre varias medidas de VCN periférica y el CI, y tampoco hallaron correlaciones entre la VCN periférica y los TR. En 1992, Vernon y Mori predicen que la correlación parcial entre el CI y los TR controlada por la VCN puede ser sustancialmente menor que una correlación de cero, sin embargo esto no fue soportado por sus resultados (Vernon *et al.*, 2000).

Vickett y Vernon (1994), reanalizaron los datos de Vernon y Mori (1992) separando las muestras de estudio por sexos. Las correlaciones encontradas entre las puntuaciones de CI y la VCN periférica testada en el nervio mediano para los hombres fueron significativas y diferían de las encontradas para las mujeres, en las que no fue significativa la relación. Más recientemente, Tan (1996) mide la VCN en el nervio periférico mediano y el CI (test de Gf de Cattell) en una muestra mixta de 37 mujeres y 45 hombres y replica los resultados hallados por Vickett y Vernon (1994) donde las correlaciones de los hombres diferían de la mujeres. Una observación es que no hemos encontrado referencias en cuanto a si procedieron a realizar las pertinentes correcciones por los efectos de la altura sobre los datos de la medida de la VCN en el nervio mediano.

En la literatura neurológica revisamos los factores que influyen en el registro de la VCN y, la mayoría de los estudios concluyen que la mayor parte de las diferencias de sexo en VCN pueden ser explicadas por la altura, que desaparecen después de realizar la corrección de los datos de la VCN por los efectos de la altura. Mientras que, a pesar del ajuste, las diferencias en la amplitud (que son mayores en las mujeres) persisten. La hipótesis más plausible es que ello indicaría que en ambos sexos las amplitudes están correlacionadas con un factor anatómico o fisiológico no medido por los autores (Stelson *et al.*, 1992). Los estudios revisados muestran que las mujeres tienen velocidades de conducción más rápidas que los hombres para todos los nervios, excepto para el mediano (*i.e.*, Robinson, Rubner *et al.*, 1993). Algunos estudios hallan que el valor de la VCN medida por éste nervio correlaciona (se incrementa) positivamente con la altura (Hyllienmark y Ludvinson, 1995), en contra de la tendencia de correlación inversa (negativa) observada entre la VCN de los demás nervios y la altura. Precisamente el nervio mediano es el que ha sido utilizado en la mayoría de los estudios y también por Vernon y Mori (1992). En el reanálisis de Vickett y Vernon (1994) no observamos que se aporten datos sobre la realización de controles por los efectos de la altura del cuerpo para la medida del VCN (nervio mediano) por sexos.

De igual modo, en la revisión de Vernon *et al.* (2000) concluye que las implicaciones para los resultados de las correlaciones presentadas por hombres y las mujeres entre la VCN periférica y el CI no están claras. Tan *et al.* (1992, 1993, 1995, 1996) sugiere que las inconsistencias en la literatura concernientes a las relaciones entre la VCN periférica y el CI por sexos pueden ser explicadas por las diferencias en la lateralización cerebral, por los niveles de testosterona y estradiol y por una posible lateralización de la VCN periférica asociada al sexo. Sugiriendo que el estradiol en las mujeres y la testosterona en los hombres jugarían un rol en la VCN asimétrica y la simétrica respectivamente y que éstos resultados también sugieren diferencias en la organización cortical para la transmisión de la información (Tan *et al.*, 1995). Recientemente Nyborg y Jensen (2000) estudiaron los niveles de testosterona como posibles modificadores del *g* psicométrico. Hallaron una pequeña relación entre ésta hormona (solo para los niveles extremos de testosterona) y el *g* psicométrico en una amplia muestra de veteranos de la armada americana.

Ahora pasaremos a revisar **los estudios sobre herencia de la VCN**, ya que se considera que los análisis genéticos juegan un papel esencial en la interpretación teórica de las intercorrelaciones entre variables biológicas y comportamentales (Plomin y Defries, 1999; Deary *et al.*, 1992; Ridjdsijk y Boomsma, 1997). Aunque es de normal aceptación que las influencias genéticas explican una cuantiosa proporción de las variaciones en las puntuaciones de CI, mucha de la variancia en CI es explicada por factores ambientales. Los cuales, se dividen en los efectos de ambientes sociales y biológicos. Por ejemplo Deary, Langan *et al.* (1992) reportan estudios que indican que la repetida exposición a factores ambientales biológicos no genéticos como por ejemplo la ingestión crónica de alcohol, la hipertensión o el daño cerebral pueden tener efectos negativos sobre el rendimiento de los tests cognitivos. Así, la influencia de estos factores biológicos no genéticos en el CI es evidente pero se hace dificultosa su cuantificación.

No vamos a hacer una revisión de los estudios sobre las bases genéticas de la inteligencia. Destacamos los trabajos sobre herencia (*i.e.*, Bouchard *et al.*, 1990) y genética del factor *g*, donde éste es conceptualizado como conjunto de genes superiores (Anderson, 2001). El objetivo del proyecto de los loci cuantitativamente distribuidos (*Quantitative Trait Loci*, **QTL**) (ver Plomin *et al.*, 1994; 2001) trata de identificar los genes específicos responsables de las diferencias individuales en inteligencia psicométrica.

Según Gray y Thompson (2004), generalmente se acepta en la literatura (*i.e.*, Bouchard y McGue, 1981; Plomin, Hill *et al.*, 2001) que la inteligencia general (*g*)

presenta un porcentaje de heredabilidad ⁶(h²) del 40 % en contraste con el porcentaje debido a todos los demás factores ambientales (*i.e.*, nutrición, educación etc.), los cuales-como señala Ceci (1991)- pueden marcar positivamente las influencias sobre la inteligencia. Así, un estudio de Devlin, Daniels *et al.* (1997) se sugiere tener en cuenta la importancia de los efectos ambientales maternos (útero materno) en la explicación de la correlación en el CI de los gemelos y, especialmente en los que fueron criados a parte.

Según Kandel *et al.* (1997), se sabe que la conducta (inteligencia) por si misma no se hereda, lo que se hereda son los genes que contiene el ADN, los cuales portan toda la información que es transmitida a través de la replicación. El ADN de los genes que se expresan en el cerebro codifica proteínas que son importantes para el desarrollo, mantenimiento y regulación de los circuitos nerviosos que subyacen a los comportamientos. En esta interrelación entre el desarrollo de los circuitos nerviosos y la conducta, el objeto de estudio de los genetistas es intentar dar respuestas sobre la existencia de un componente genético de la inteligencia. O el supuesto que estamos desarrollando por el cual un funcionamiento neurofisiológico eficiente del cerebro en el procesamiento de la información vendría determinado genéticamente.

Chorney *et al.* (1998, citado por Gray y Thompson, 2004) informaron sobre el descubrimiento de una variación genética relacionada con la inteligencia general (*g*) que se ha localizado en el cromosoma 6, dentro de un gen denominado el IGF-2, que codifica a un receptor de un factor de crecimiento insulinoideo, que pudiera influir en la velocidad del metabolismo cerebral. De manera que la asociación entre la inteligencia y la velocidad del procesamiento de la información/función cerebral estaría debida a un gen común o a un conjunto de genes (Geus, Wright, Martin y Boomsma, 2001).

Los orígenes genéticos de la variación de la velocidad de conducción nerviosa fueron inicialmente estudiados en poblaciones de monos por Hegmann *et al.* 1973, citado por Rijdsijk *et al.* (1995), aunque no se tiene conocimiento de las causas de la variación de la VCN en humanos. El único estudio para valorar los efectos ambientales en la VCN periférica es el de Reed (1993), que fue realizado con monos (dado que la anatomía y la fisiología de los nervios periféricos es muy similar en todos los vertebrados), y halló incrementos en VCN debido a los efectos de ambientes enriquecidos. Por lo que apunta que estos resultados pudieran tener implicaciones para los humanos en los incrementos en el nivel CI, aunque señala que se requieren

6

El estadístico h² refleja el porcentaje de la variación en las puntuaciones de CI que es atribuible a los factores genéticos.

más estudios que integren el cuerpo de datos sobre ambiente enriquecido, VCN, velocidad del PI e inteligencia.

Otro estudio examina el efecto de los factores de herencia y ambiente en la correlación observada entre la inteligencia y los TR simples en una muestra de pares de gemelos masculinos de 15-57 años, constatándose que la relación fenotípica entre las medidas de velocidad del PI (TR) y la inteligencia psicométrica (CI) está casi por entero atribuida a factores genéticos (Baker, Vernon y Ho, 1991). Partiendo de estos datos, les sucedieron otros estudios de VCN con gemelos.

En humanos la arquitectura genética de la VCNP fue estudiada con gemelos por Rijdsdijk, Boomsma y Vernon (1995). Inspirados en los resultados originales de Vernon y Mori (1992) diseñaron un estudio para investigar las relaciones entre la VCN periférica y la inteligencia (CI) longitudinalmente en una muestra de gemelos daneses. Su objetivo era examinar qué variación en el CI es atribuible a la variación en VCNP y qué variación se extiende a la covariación entre VCNP-CI y está mediatizada por factores genéticos y ambientales.

En su primer trabajo para determinar la heredabilidad de la VCNP en humanos se basaron en las hipótesis de Reed que postula que las diferencias en la heredabilidad de la VCN puede explicar parte de la heredabilidad de la inteligencia, y predice como razonable una estimación de 0.5 para la heredabilidad de la VCN en humanos. Así, estudiaron la variación en VCN periférica (VCNP) (medida en el nervio mediano utilizando estimulación ortodrómica) y la inteligencia (CI) en un grupo de 426 gemelos formado por mujeres y hombres de una media de 16 años.

En sus resultados, no se hallaron diferencias entre mujeres y hombres en cuanto a puntuaciones de las AMP de Raven, pico y final de la medida de la VCN, en cambio, sí se hallaron diferencias en el principio de la VCN y la altura reportando valores dentro del rango de la normalidad en la literatura. Para el total de la muestra los análisis genéticos demuestran una heredabilidad de ($h^2 = 0.65$) para las puntuaciones del CI medido por las AMP y de ($h^2 = 0.77$) para la VCNP. Sin embargo, no se encontró correlación fenotípica entre las puntuaciones del CI y la VCNP.

Para explicar la ausencia de correlación, señalan que estos resultados no pueden relacionarse con las altas desviaciones estándar en la altura halladas por sexos ya que en el estudio de Vernon y Mori (1992) se reportaron de igual modo y se halló correlación; ni tampoco por los efectos del ejercicio físico ya que no fue correlacionado con el nivel de la VCN. Y señalan, paradójicamente, que este resultado quizás sea debido al uso del test AMP de Raven que también fue utilizado por el Barret *et al.* (1990) y tampoco se obtuvo correlación.

Dos años después, Rijdsdijk y Boomsma (1997) procedieron a realizar un segundo estudio técnicamente igual al anterior en cuanto al cálculo de la VCN, exceptuando

que sustituyeron el test de Raven por las escalas del WAIS para la obtención de la medida del CI, creyendo que con el uso de este test se incrementaría la probabilidad de replicar los resultados de Vernon y Mori (1992), ya que ambos tests (WAIS y MAB) están altamente correlacionados ($r=0.9$). En una muestra de estudio de pares de gemelos de una media de edad de 18 años, correlacionaron el CI del WAIS con la VCNP, y obtuvieron una heredabilidad del 81% para el total de la escala de CI (WAIS), hallando una correlación fenotípica pequeña pero significativa de ($r=0.15$) entre el primer pico de la VCN periférica (59.6m/s) y el CI total medido por el WAIS (también una de $r=0.15$ para el CI Verbal y CI Manipulativo) medida por el factor genético común. En resumen, los resultados para ambos estudios de Ridsdijk y Boomsma (1995, 1997) revelan que la VCN periférica es un sustancial rasgo hereditario que presenta una heredabilidad 77% en el primer estudio y un 66% en el segundo estudio.

Resumiendo y para finalizar, las predicciones de Reed sobre que la velocidad de transmisión neural, medida por el índice de la VCN periférica, explicaría las relaciones entre los TR y la inteligencia (CI) no obtienen soporte, ya que no se halló correlación entre los TR y la VCN (Reed y Jensen, 1993a). Recientemente Vernon *et al.* (2000) hallaron resultados inconsistentes entre varias medidas de VCN periférica y el CI y tampoco hallaron correlaciones entre la VCN periférica y los TR. De manera que no lograron clarificar las inconsistencias de los estudios previos, indicando nuevamente que las medidas fisiológicas de la velocidad de conducción neural (VCN) no están relacionadas con las medidas conductuales del PI (TR) (Vernon *et al.*, 2000). También Anderson (1994, citado por Vernon *et al.*, 2000), mediante un modelo de computación simple, ha sugerido que la relación entre los TR y el CI no puede ser atribuida a la velocidad de conducción neural.

Tampoco se ha encontrado soporte empírico para evidenciar que la VCN periférica estuviera correlacionada con la VCN central (*i.e.*, Reed y Jensen, 1993a; Vickett y Vernon, 1999). Una ausencia que, según Rijdsdijk y Boomsma (1997), puede ser real, en contra de las sugerencias de Reed (1984), ya que hay diferencias en las propiedades de ambos sistemas nerviosos (central y el periférico) que deben ser tomadas en consideración. Una posible explicación sería debida a que la mielina, que es responsable de la velocidad de transmisión, está formada y mantenida por oligodendrocitos en el SNC mientras que en el SNP lo ésta por las células de Schwann que son células formadas por mielina. Ambas células difieren en la forma del control de la formación de mielina, en la codificación para la producción de mielina, en sus orígenes y en sus características bioquímicas y estructurales (Jacobson, 1991, citado por Rijdsdijk y Boomsma, 1997). Dadas estas diferencias, los procesos neurofisiológicos de ambos sistemas nerviosos no pueden ser completamente comparables.

En cuanto a la VCN periférica, el rango de la correlaciones reportadas entre las

medidas de VCN periférica asociadas a las puntuaciones inteligencia (CI) van desde las correlaciones positivas moderadas (*i.e.*, Vernon y Mori, 1989,1992), a las modestas y bajas correlaciones (*i.e.*, Rijdsdijk y Boomsma, 1995, 1997; Wickett , Vernon *et al.*, 1999) hasta las correlaciones cercanas a cero, negativas o no significativas (Tan, 1996; Reed y Jensen, 1991; Barret, Daum y Eysenck, 1990). Derivado de ello, se puede concluir fácilmente que las correlaciones entre la VCN medida en el nervio periférico y el CI no están bien establecidas, y a que se caracterizan por presentar una gran variabilidad e inconsistencia en los resultados.

En la literatura se sugiere que algunas de las divergencias en los estudios pueden estar debidas a diferencias de procedimiento, y es lógico pensar que pudieran influir en el valor de la medida de la VCN periférica y posiblemente explicarían, en parte, las discrepancias e inconsistencias de las correlaciones halladas. No obstante, las conclusiones efectuadas por los propios autores de los estudios llevados a cabo entre la velocidad de transmisión periférica (VCN) e inteligencia (CI) es que éstos presentan un patrón de resultados, a todas luces, inconsistentes y contradictorios. La relación (VCN-CI) no está bien establecida, ya que las evidencias para la correlación entre ambos son débiles y variadas (Vernon, Vickett, Bazana y Stelmack, 2000) *...claramente, los nervios periféricos no están directamente implicados en la actividad cerebral asociada con la capacidad mental* (Stelmack *et al.*, 2003, p. 98). De igual modo, Jensen (1998) concluye que *...la naturaleza y el grado de relación entre la VCN periférica y el CI permanece como un puzle pendiente de resolución.*

En cuanto a la VCN a nivel subcortical ha pocos estudios hasta la fecha, que a fin de validarse, debería ser posible replicarse a otras modalidades sensoriales. Aunque, parece ser que el indicador presenta dificultad de generalizar su validez, ya que la modalidad visual, los estudios de la VCN derivada de los VEP, hallaron correlaciones positivas con las puntuaciones de inteligencia no verbal (*i.e.*, Reed y Jensen, 1989, 1992) mientras que en la modalidad auditiva tenemos nuevos datos de correlaciones negativas y significativas entre la VCN, derivada de los BAEP, con las puntuaciones de inteligencia verbal (Stelmack *et al.*, 2003) que no darían soporte a la teoría de la velocidad. Terminaremos esta revisión con las conclusiones del ⁷informe de Neisser *et al.* (1996) sobre el estudio de la VCN (central) de Reed y Jensen (1992) que dicen textualmente... *Así, mientras que todavía no comprendemos la base de la correlación VCN e inteligencia psicométrica, sí parece que no es sólo una cuestión de velocidad* (p. 64).

7

El Informe presentado por Neisser *et al.* (1996) Inteligencia: lo que sabemos y lo que desconocemos, está traducido en Andrés, A. y Colom, A. (Comp.)(1998).Ciencia y política de la inteligencia en la sociedad moderna. Madrid: Biblioteca Nueva.

2. 2. 3. 4. Efectos de la Diabetes Mellitus y el Hipotiroidismo en los procesos cognitivos y su relación con la VCN.

A pesar de no hallar correlación entre el índice de la VCN periférica y la VCN cerebral, hay un número considerable de estudios clínicos que pondrían en evidencia que enfermedades y traumatismos que afectan al sistema nervioso representan efectos negativos para ambas conducciones (central y periférica). Por ejemplo, los estudios con pacientes diabéticos o con hipotiroidismo y con pacientes con VIH (Pinto *et al.*, 1992, citado por Rijdsdijk y Boomsma, 1997).

La diabetes mellitus es una enfermedad caracterizada por tener altos niveles de azúcar en sangre. La diabetes mellitus no insulino-dependiente (NIDDM) o Tipo II es la más común de las diabetes, y afecta a un 7-10 % de la población. Los efectos de esta enfermedad son diversos, como el debido al incremento del riesgo de apoplejía con resultado de daño cerebral. Así, una consecuencia del tratamiento de la diabetes por insulina sería la hipoglucemia (menor glucosa en sangre) que puede provocar serias consecuencias, incluyendo lesión cerebral permanente. Puesto que el cerebro depende de la glucosa y al no disponer de reservas, ya que no está en disposición de utilizar sustratos metabólicos alternativos, en los períodos de privación aguda de glucosa se puede provocar un estado de neuroglicopenia en el que las funciones cognitivas y neuropsicológicas están debilitadas (Hoffman *et al.*, 1989, citado por Deary *et al.*, 1992).

Son numerosos los estudios llevados a cabo para la valoración del impacto de la diabetes sobre el sistema nervioso central y en el debilitamiento cognitivo. No pretendemos aquí realizar una revisión exhaustiva sino constatar los efectos de la diabetes, y otras enfermedades, en la cognición y en el procesamiento básico de la información.

En los estudios clínicos con pacientes diagnosticados de diabetes tipo I o insulino-dependientes se utiliza de manera rutinaria la técnica de los VEP para explorar el funcionamiento del procesamiento básico visual. En los pacientes diagnosticados se han observado retrasos en la latencia P100, que ha sido descritos como retrasos en la conducción neural en el tracto visual postretinal (Parisi *et al.*, 1998). Varios estudios hallan prolongaciones en la latencia P100 en sujetos diabéticos con respecto a los normales (Algan *et al.*, 1989; Yalrkaya *et al.*, 1988). Los estudios también informan de decrecimientos en la velocidad de conducción nerviosa central (valorada por la latencia de los BAEP auditivos) como correlato funcional en sujetos diabéticos (Donald, Erdahl *et al.*, 1984). También- como ya indicamos- se utiliza de manera rutinaria el parámetro de la VCN para evaluar la (dis) función del nervio periférico en el diagnóstico y valoración de la conducción de los impulsos neurales en neuropatías como la diabetes

(Mackel y Brinck, 2003). Sin embargo, los resultados del estudio de Yalrkaya *et al.* (1988) se sitúan en la tendencia de no hallar relación entre ambas velocidades de conducción (central y periférica), ya que no halló relación entre la latencia VEP (sistema nervioso central) y la VCN periférica medida en el nervio sural.

Stankov y Dunn (1993) resumen un número considerable de estudios que llegan a similares conclusiones: la diabetes está asociada a las disfunciones cognitivas de la memoria y del razonamiento abstracto y resolución de problemas. Éstos autores describen los estudios con pacientes diabéticos en términos de la teoría de la Gf-Gc. Parece ser que los pacientes diabéticos rinden peor que los normales en términos de inteligencia fluida (Gf) y otras medidas de adquisición a corto término y recuperación y la diferencia en términos de la capacidad verbal (Gc) no es marcada entre grupos. Aunque ha de considerarse que la dificultad en el rendimiento de las tareas psicológicas está asociada con el incremento en las diferencias individuales en inteligencia fluida, con las diferencias relacionadas con la edad, y con la patofisiología subyacente relacionada con la diabetes. Este autor señala que los resultados de la diabetes han sido interpretados en términos de *capacidad*, pero la evidencia a favor de la hipótesis de la capacidad es indirecta y puede ser igualmente consistente con la hipótesis de la *eficiencia*.

Hay considerables evidencias para la hipótesis de la eficiencia neural, éstas serían los estudios de la actividad metabólica de la glucosa-ya citados anteriormente- y las investigaciones de Deary y colaboradores, que en una serie de estudios aportan evidencias claras de deterioro de cognitivo y del procesamiento visual de la información en la diabetes. Así, en un estudio para valorar los efectos controlados de la hipoglucemia en los estadios iniciales del procesamiento visual de la información, Deary *et al.* (1992) hallaron que la hipoglucemia afecta a los procesos de decisión o procesos de iniciación de respuestas (input) más que a los procesos de codificación, almacenamiento, comparación o clasificación en la memoria a corto plazo. Posteriormente, McCrimmon, Deary, Huntly *et al.* (1996) hallaron que la hipoglucemia causa una significativa disrupción en el capacidad cognitiva general y produce un muy significativo deterioro en la ejecución de todas la tareas cognitivas de procesamiento visual (*i.e.*, tiempos de inspección, cambios de detección visual y detección del movimiento visual etc.) y un marcado deterioro en la velocidad del PI.

En otro estudio Ewing, Deary *et al.* (1998) valoran el efecto de la hipoglucemia en el procesamiento de la información visual en adultos con diabetes tipo I (insulinodependiente) y hallaron los mismo resultados que en el estudio de 1996; éstos son: deterioro en la capacidad cognitiva general y en la velocidad del procesamiento visual de la información, valorada por las medidas de los TI, los cambios en la detección visual, así como por la sensibilidad de contraste.

Otra de las patologías asociada a decrecimientos de la VCN que presenta afectación cognitiva es el hipotiroidismo (una disfunción hormonal). El hipotiroidismo es una patología metabólica que está asociada con alteraciones en el funcionamiento del SNC y del SNP. Las manifestaciones de la enfermedad sobre el SNC incluyen: retraso mental, cambios de memoria, depresión y rara vez convulsiones y coma. En uno estudio reciente, Khedr *et al.*(2000) valoraron el funcionamiento cognitivo en pacientes con hipotiroidismo evaluando los cambios funcionales en el sistema nervioso mediante diferentes parámetros electrofisiológicos que incluyen: la electromiografía, velocidad de conducción motora, potenciales evocados visuales (VEP) y auditivos (BAEP) y la latencia del ERP (P300) que ha sido asociada los procesos de la atención y la amplitud de la P3 con un mejor rendimiento en memoria.

En el estudio, utilizaron la escala del WAIS (CI) para la valoración del deterioro cognitivo que resultó significativo en el CI verbal y en el CI manipulativo en los pacientes con hipotiroidismo comparado con los controles. El estudio también informa de una prolongación de la latencia P3 y de una reducción de la amplitud del P3, lo cual puede sugerir una afectación de la función neurocognitiva en el hipotiroidismo. También la latencia P100 de los VEP presentó prolongaciones significativas y se observó reducciones en las amplitudes de los VEP. En el estudio también se apunta que estos retrasos de los VEP podrían ser, probablemente, secundarios a la disfunción retinal central.

En resumen, según Khedr *et al.*, la prolongación de todas la latencias estudiadas sugiere que la afectación del sistema nervioso es difusa, afectando a ambos tiempos de conducción (periférico y central), concluyendo que el SN central fue el que presentó más afectación *versus* el SN periférico, en el 78 por 100 de los casos. Con lo cual, el hipotiroidismo, según estos datos, afecta a ambos sistemas, siendo el SN central más vulnerable que el periférico a sus efectos.

3. Bases neurales de la inteligencia general.

El estudio de las bases neurales de la inteligencia general - según Gray y Thompson (2004)- incluye las relaciones entre la inteligencia psicométrica y: la contribución funcional específica de las diferentes regiones cerebrales en el razonamiento y otras capacidades; neuroquímica funcional; conectividad funcional entre los componentes de las redes neurales de la memoria de trabajo; relaciones entre actividad y estructura cerebral; diferencias de género en los mecanismos neurobiológicos; eficiencia neural; plasticidad neural; y relaciones entre la velocidad de procesamiento, tiempos de inspección y mecanismos neurales.

En este apartado nos centraremos en los recientes estudios sobre localización neural de la inteligencia general, en un intento de respondernos a las preguntas

clásicas ya planteadas: ¿Tendría *g* una localización específica en el cerebro o representa una propiedad emergente global del encéfalo (idea más extendida hasta ahora)? En el segundo punto revisaremos los estudios sobre las relaciones entre la actividad cerebral y determinadas estructuras cerebrales, en los que haremos referencia a las diferencias de género, y finalmente, revisaremos los estudios del índice de volumen cerebral.

3.1. Localización neural de *g*.

Parece ser que las recientes investigaciones aportan estrechas evidencias que refuerzan la hipótesis de que el sustrato neural de la inteligencia general podría estar neuroanatómicamente localizado en las regiones frontales del cerebro. Estos estudios parten de las investigaciones con pacientes frontales, que sugieren que los lóbulos frontales pueden estar implicados en *g* (Penfield, 1940; Hebb, 1949; Duncan *et al.*, 1996), ya que se observó que los daños en el córtex prefrontal (PFC) pueden perjudicar la planificación y el control ejecutivo, así como la ejecución de los tests de Gf.

En un estudio, Duncan *et al.* (2000) midió la actividad neural mediante TEP y utilizó pruebas de tipo verbal, espacial y perceptivo motoras como medidas de inteligencia general. Sus resultados demuestran que la ejecución de las tareas con altas correlaciones en *g*, se asocia con reclutamientos selectivos por un amplio rango de diferentes demandas cognitivas que se localizan en el córtex lateral frontal. Ésta sería una gran parte de la distribución de *g* en el cerebro, la zona que se activaba al procesar la información en la ejecución de diferentes tareas complejas, en vez de presentarse un patrón de activación neural global del cerebro o de múltiples regiones.

En el contexto de la neurociencia cognitiva, las funciones de los lóbulos frontales no son todavía bien comprendidas. Se supone que son un reflejo del procesamiento general de la información, o se las relaciona con conceptos como el control ejecutivo, la formación de estrategias o la memoria de trabajo (Gerhand, 1999; Neary, 1999; Duncan, 2001). Recientemente, Barceló *et al.* (2000) evidencian que el PFC tiene la función de modular la actividad neural del córtex visual primario en el procesamiento visual en humanos.

Los avances conceptuales y psicométricos han sido cruciales en el conocimiento de la inteligencia. Pero mientras que el análisis factorial se muestra indeterminado para distinguir entre las hipótesis alternativas sobre su estructura (unitaria/múltiple), los métodos biológicos potencialmente sí pueden. En el estudio de los mecanismos neurales de la Gf, la cuestión clave está en realizar la descripción de la covariación cognitivo-anatómica ajustada por una teoría específica (Kosslyn *et al.*, 2002, citado por Gray *et al.*, 2003). Gray y Thompson (2004) apuntan que el estudio de Duncan *et al.*,

puede tener implicaciones para el debate sobre la estructura de la inteligencia, ya que sus resultados estarían a favor de las teorías de la unitaria naturaleza de *g*, porque suponen una visión de *g* próxima a la de Spearman como un sistema de funcionamiento central unido, pero estrechamente localizado en el PFC.

Estos datos han sido confirmados por Thompson, Cannon⁸ *et al.* (2001) en un estudio con 40 sujetos gemelos, 20 MZ y 20 DZ de ambos sexos. En el que, mediante un análisis de comparación de medias de grupos, halló relación entre las puntuaciones de CI prorrateado del WAIS (cubos, fig. incomp., vocabulario, semejanzas) y la actividad metabólica (TEP), que fue localizada en los frontales; encontraron que *g* estaba relacionada con la cantidad de materia gris de los frontales, cuya estructura viene determinada por factores genéticos, aunque no completamente. Sobre éstos estudios, Plomin y Kosslyn (2001) y Gray *et al.* (2004) plantean la posibilidad de que un mayor volumen de materia gris puede estar relacionado con una mayor inteligencia porque las personas altamente motivadas ejercitarían más la actividad de su cerebro e incrementarían su volumen de materia gris.

Sin embargo, en otros estudios citados por Gray y Thompson (2004) en los que se utiliza un diseño similar, como el de Prabhakara *et al.* (1997) que utilizan la fMRI en una muestra de 7 sujetos (3 hombres y 4 mujeres) y el de Esposito, Kirby *et al.*, (1999) que utilizan la TEP en una muestra de 41 sujetos (21 mujeres y 20 hombres), revelan una actividad generalizada del cerebro durante la ejecución de los tests de inteligencia de Raven. Y en un estudio desde la aproximación de las diferencias individuales para la medida de la variación individual en la identificación de las regiones cerebrales realizado con TEP de Gray *et al.* (2003) se incluye, además del PFC, la activación de las regiones posteriores del cerebro. Así, identificaron en varias regiones cerebrales que la *Gf* estaba asociada con una alta activación de éstas. Un resultado, según el autor, que iría en dirección contraria a los estudios como los del metabolismo de la glucosa y los estudios efectuados para examinar el patrón espaciotemporal de activación cortical. En los que una *Gf* elevada ha sido asociada con una baja actividad cerebral, lo que ha sido interpretado como un signo de mayor eficiencia neural. A todo ello, una explicación ofrecida por Gray, Chabris *et al.* (2003) es que los sujetos más inteligentes puedan tener regiones cerebrales más estrechamente activadas, pero para una corta duración (relacionado con una rápida ejecución). De ahí viene que presenten una menor activación total integrada en el curso del tiempo.

Las discrepancias de estos estudios, según Gray y Thompson (2004), serían

8

Los datos del estudio fueron analizados conjuntamente para la muestra total de mujeres y hombres, así como los de Prabhakaran *et al.* y los de Esposito *et al.*

aparentes y podrían ser el resultado del uso de la RM funcional en vez de la TEP. Ésta aunque presenta una alta resolución espacial, no permite valorar el curso temporal de la activación cerebral y, la desventaja con respecto al EEG, es que el sujeto ha de realizar la tarea cognitiva en fases largas (normalmente de 30 minutos), de manera que el escaner TEP solo presenta efectos acumulativos de la función cerebral en éstos periodos y no permite realizar valoraciones finas de los análisis temporales de la activación cerebral, necesarios en el estudio de la activación en la ejecución de las tareas cognitivas elementales (Neubauer *et al.*, 1995, 2002).

Otra explicación ofrecida por estos autores es por las diferentes tareas que varían en su capacidad de predecir g , ya que la identificación de una región cerebral (red neural) por la correlación entre el g psicométrico y la actividad cerebral depende de las cargas de g en las tareas utilizadas. Además, Gray *et al.* (2003), también señalan que la contribución cognitiva particular de la actividad neural puede variar por la región cerebral porque los datos de los estudios de las diferencias individuales son correlacionales y es posible que algunas de las regiones identificadas no contribuyan causalmente en la ejecución de las tareas. Finalmente apuntan que el estudio de las diferencias individuales en la conectividad efectiva entre regiones cerebrales puede contribuir a explicar las diferencias en Gf .

En resumen, las neurociencias cognitivas han permitido determinar el mapa entre los procesos cognitivos abstractos hipotetizados y la organización estructural y funcional del cerebro. Según, Gray y Thompson (2004), la inteligencia fluida⁹, en el sentido de la capacidad de razonamiento y resolución de problemas nuevos, está consistentemente relacionada con la integridad, estructura y función del córtex lateral prefrontal y otras áreas, como las parietales, que están bajo control genético. La inteligencia cristalizada podría relacionarse de diferente manera que la fluida con la actividad cerebral, sin embargo los estudios presentan resultados mixtos que no permiten realizar generalizaciones firmes.

3.2. Correlatos de g : El índice de volumen cerebral y la velocidad-eficiencia del procesamiento.

La evolución humana ha estado marcada por el incremento del tamaño del cerebro hasta el actual *homo sapiens*. La noción de que la inteligencia (CI) correlaciona con el tamaño cerebral ha persistido durante más de cien años de

9

Gray, Chabris *et al.* (2003) indican que, cognitivamente, la Gf está relacionada con los conceptos de metacognición y con la memoria de trabajo. Estas consideraciones implican que puede haber una covariación de la Gf con la actividad cerebral en regiones que son críticas para la actividad del control atencional o los ejecutivos centrales.

biología evolutiva (Tramo *et al.* 1998). El interés real de los estudios sobre tamaño craneal-no exentos de polémica-está basado en la hipótesis que supone que el tamaño cerebral está relacionado con la inteligencia general.

Vernon y Wickett (2000) resumen los resultados de los estudios realizados desde 1906 hasta 1998 que presentan las correlaciones entre varios parámetros antropométricos de tamaño craneal (principalmente con el perímetro de la cabeza tomado como indicador del volumen externo del cráneo) y varias medidas de inteligencia psicométrica (CI), con un valor promedio de aproximadamente 0.20 (Jensen, 1998). Estos estudios iniciales inferían el volumen cerebral a partir de medidas indirectas antropométricas de tamaño craneal y se realizaban con instrumentos antropométricos de medición considerados de menor precisión que los actuales. De manera que las correlaciones entre el tamaño de la cabeza y la inteligencia (CI) (*i.e.*, Van Valen, 1974; Jensen, 1994) fueron inicialmente tomadas con escepticismo al estar afectadas principalmente por los problemas de fiabilidad o *imperfección técnica* de la medida.

Posteriormente con el avance de las técnicas en imágenes tomográficas computerizadas y la resonancia magnética (RM) fue posible realizar estimaciones más precisas del volumen cerebral *in vivo*. Así, la correlación entre el índice de volumen cerebral y las puntuaciones de CI hallada es de un valor medio de aproximado de 0.40 (*i.e.*, Andreasen, Flaum, Swayze, *et al.*, 1993; Willerman, Schultz, Ruedge y Bigler, 1991; Willerman *et al.*, 1992; Egan, Chiswick, Santosh *et al.*, 1994; Wickett, Vernon y Lee, 1994; Wickett *et al.*, 2000; Tan *et al.*, 1999; Flashman, Andreasen, *et al.*, 1998; MacLulich, Fergusson, Deary, Starr *et al.*, 2002). Podemos observar que, mediante el uso de la RM, se produce un incremento de la correlación de 0.20 a 0.40 de valor promedio aproximado. En general, interpretan que los resultados indican que el volumen cerebral en su totalidad y, en menor medida el tamaño craneal, predice o es responsable de la inteligencia global (factor *g*). Lo que les sugiere la implicación difusa de todo el cerebro en el rendimiento de las tareas que requieren integración y uso de múltiples dominios cognitivos (Flashman, Andreasen *et al.* 1998). El estudio de Egan, Chiswick *et al.* (1994), realizado con 48 hombres y 2 mujeres, investiga la relación entre la cantidad de tejido cerebral (MG y SB) y el CI. Halla que el volumen cerebral total correlaciona más estrechamente con el CI Total y el CI Verbal que con el CI Manipulativo del WAIS; el volumen de materia gris (MG) correlaciona más estrechamente con el CI verbal (0.38) y correlaciona negativamente con el CI Manipulativo (-0.14); el volumen de materia blanca (SB) correlaciona más estrechamente con el CI Manipulativo (0.32) (Egan *et al.*, 1994), pero ésto no es consistente a través de los estudios (Deary y Caryl, 1997). Andreasen *et al.* (1993) encontró relaciones entre el volumen de las áreas temporales y el CI. Y dentro del

córtex, el volumen de materia gris de los prefrontales estuvo especialmente influenciado por la correlación con el CI (Thompson *et al.*, 2001) (ver cap. 4. punto 3.1.).

Otra observación es que la mayoría de estos estudios han sido realizados con muestras formadas exclusivamente por sujetos hombres. En la revisión de Vernon, Vickett, Bazana y Stelmack (2000) se señala que la correlación entre el volumen cerebral total y el CI se da igual para los hombres que para las mujeres (*i.e.*, Andreasen *et al.*, 1993; Wickett, Vernon y Lee, 1994; Willerman *et al.*, 1991, 1992), aunque con particularidades para ambos sexos que vendrían a sugerir diferencias para la organización cortical de la información (Willerman *et al.*, 1991, 1992).

Así, los resultados de Willerman, Schulz *et al.* (1991) exhiben una correlación entre el volumen cerebral y el CI prorrateado del WAIS de ($r=0.65$) para el grupo de los hombres clasificados con el CI superior mientras que para el grupo de la mujeres clasificadas con el CI superior fue de ($r=0.35$). Estos datos sugieren que el volumen cerebral se relaciona con el CI especialmente o más estrechamente en el grupo de los hombres, mientras que en el grupo de las mujeres no es tan importante esta asociación, o lo mismo, que ellas para ser más inteligentes no dependerían tanto del volumen de sus cerebros.

La observación de que hay diferencias en el tamaño cerebral promedio de las mujeres y los hombres sin darse correspondencia con diferencias de sexo en inteligencia general fue descrita por Ankney (1992) como una *paradoja*, ya que el tamaño cerebral correlaciona positivamente con el CI. Aunque no hay relación de causa directa entre la variable tamaño cerebral y la inteligencia general. En referencia a estos estudios, Jensen (1998) sugiere que la inteligencia de los hombres puede estar más relacionada con su tamaño cerebral mientras que en la inteligencia de las mujeres puede estar implicada una mayor eficiencia neural. De igual modo, Willerman *et al.* (1991, 1992) propone que el tamaño de la cabeza en las mujeres sería una medida menos válida de la cantidad de tejido cerebral dedicado a las funciones cognitivas o que las mujeres tengan una organización cerebral distinta que compense el menor tamaño del cerebro. La propuesta de Jensen (1998) está de acuerdo con la hipótesis de un dimorfismo ¹ sexual (Delacoste-Utamsing y Holloway, 1982) en los circuitos cerebrales/sistemas neurales o por diferencias en la velocidad de conducción neural.

Aunque las diferencias del sustrato neuroanatómico subyacente a las diferencias

1

El dimorfismo sexual anatómico es comparable, por lo menos, desde los homínidos del Pleistoceno Medio (Arsuaga *et al.*, 1997, citado por Gur *et al.*, 1999),

conductuales de sexo no están todavía claras (Gur *et al.*, 1999), varios estudios en la literatura reciente sugieren diferencias de sexo en la organización cortical para la transmisión de la información (Willerman, 1991). Así, los estudios de Witelson (1995) demostrarían un dimorfismo sexual del córtex cerebral con significativas mayores densidades neurales en los cerebros de las mujeres en áreas relacionadas con la cognición. Específicamente, hallaron que las autopsias del cerebro de las mujeres presentan una mayor densidad neuronal por unidad de volumen en el córtex temporal que en el de los hombres. Los resultados les sugieren que éstas diferencias de sexo en densidad neural pueden reflejar diferencias en conectividad y sinaptología, e interpretan que la unidad funcional cortical pueda tener una diferente *ratio* de componentes de *input* y *ouput* en los cerebros de ambos sexos que puede tener implicaciones para las diferencias de sexo en cognición y conducta.

En este contexto, sería interesante separar el volumen total del tejido cerebral. Así, Gur, Turetsky *et al.* (1999) segmentaron el volumen del cerebro en volumen de materia gris y volumen de materia blanca en una muestra de 40 mujeres y 40 hombres sanos de 18-45 años. Los resultados demuestran diferencias de sexo en el porcentaje y la asimetría del volumen del tejido cerebral que pueden contribuir a explicar las diferencias de sexo en el funcionamiento cognitivo. Así, el cerebro de las mujeres presentan un mayor porcentaje de materia gris (MG) que de sustancia blanca (SB) en comparación con el cerebro de los hombres. En los hombres, el porcentaje de MG fue alto en el hemisferio izquierdo, y el porcentaje de SB fue simétrico; las mujeres no presentaron asimetrías. El volumen de ambas (MG y SB) fueron correlacionadas moderadamente con el CI global del WAIS, verbal y espacial a través de los grupos. Sin embargo, la recta de regresión entre el rendimiento cognitivo y el volumen de materia blanca fue significativamente más escarpada en las mujeres. Y en el examen, dentro del contexto del volumen total, el alto porcentaje de volumen de MG en las mujeres es complementado por un alto porcentaje global de volumen de SB y de CSF (fluido cerebro espinal) en los hombres. Estas diferencias de sexo en la composición del tejido intracraneal son interpretadas por los autores como el fruto de una razonable estrategia evolutiva de adaptación del cerebro de las mujeres a un menor espacio intracraneal, ya que éste requiere distancias más cortas para transferir la información, y la SB puede ser relativamente menos necesaria en las mujeres.

La MG consiste en el tejido somatodendrídico de las neuronas necesario para la computación mientras que la SB comprende el tejido conectivo mielinizado necesario para transferir la información desde las regiones corticales distantes. Así, un alto porcentaje de materia gris en las mujeres, que es bilateral, incrementa la proporción de tejido disponible para realizar los procesos computacionales en la transmisión de la información a través de regiones corticales distantes, lo que explica que se

compense con un menor espacio intracraneal. Un resultado que parecería estar en concordancia con lo que ha venido denominándose una evolución hacia el *homo economicus*.

Los resultados de los estudios sobre las diferencias de sexo en la especialización hemisférica, en los que se sugiere que los hombres tienen una mayor especialización mientras que las mujeres tienen una representación bilateral de las funciones (Kimura y Harsman, 1984), han motivado las investigaciones sobre la morfología del cuerpo caloso (el mayor tracto de materia blanca que conecta ambos hemisferios), una estructura relacionada con las transmisión de la información. Estudios recientes con RM confirman diferencias morfoanatómicas en la estructura del esplenio del cuerpo caloso (la extremidad posterior del cuerpo caloso que conecta las áreas correspondientes derecha e izquierda y que contiene la porción más alta de fibras de transmisión nerviosa de todo el caloso) que es proporcionalmente más grande en las mujeres (Allen, Richey *et al.*, 1991; Davatzikos *et al.*, 1998); ésto es interpretado como el reflejo de una mayor conectividad interhemisférica en las mujeres, además, el bulbo del cuerpo caloso fue correlacionado con las medidas cognitivas en las mujeres pero no en los hombres, indicando que el grado de conetividad interhemisférica tiene diferentes implicaciones para ambos sexos (Davatzikos y Resnick, 1998).

En el estudio de la naturaleza de las asimetrías hemisféricas en los procesos cognitivos superiores, generalmente se asume que las funciones del cuerpo caloso son simétricas. Es decir, que la velocidad y eficiencia de la comunicación interhemisférica por o a través de la vía del caloso es esencialmente la misma para ambas vías de transmisión interhemisférica (del HD al HI y del HI al HD) (Brown *et al.*, 1993). Sin embargo varios estudios sugieren asimetrías en el índice del tiempo de la transmisión interhemisférica (IHTT), medido por la latencia VEP registrada bilateralmente (Brown *et al.*, 1993). El empleo de dicha latencia se justifica en que el cuerpo caloso es la vía exclusiva para mediatizar la ipsilateral de los componentes P1 y N1 de los VEP, ya que se ha demostrado claramente la ausencia de éstos componentes en pacientes con comisurotomía (Rugg *et al.*, 1985; Mangun *et al.*, 1991, citados por Brown *et al.*, 1993).

Aunque no se presentan datos de comparación por sexos, Brown, Larson y Jeeves (1993) hallaron que el VEP-IHTT es direccionalmente asimétrico, al ser significativamente más rápido para efectuar la transmisión de la información desde el hemisferio derecho (HD) al izquierdo (HZ) para la presentación del campo visual lateral, cuando los sujetos (N=21, 10 mujeres y 11 hombres) realizaban una tarea compleja. Los resultados de éste estudio también les sugieren que la velocidad relativa de la vía *lenta* cros-caloso (del HI al HD) es más importante para la velocidad y

precisión en determinadas tareas (*i.e.* comparación de letras), reflejado en una ventaja del campo visual bilateral. Para explicar éstos resultados, Braun *et al.* (1992, citado por Brown *et al.*) concluye que el patrón de disociación del relevo interhemisférico está directamente determinado por el grado de especialización hemisférica, reflejado en una ventaja del hemicampo. Y cree que la asimetría del IHTT puede ser el resultado de una función dinámica del procesamiento neural, en el que la dominancia lateral, elicitada en la tarea cognitiva particular, determina la selección de canales rápidos o lentos para la transmisión interhemisférica, más que la velocidad de transferencia fija, característica anatómica del cuerpo caloso, como presuntamente cree Marzi *et al.* (1991, citado por Brown *et al.*). Puesto que Marzi *et al.* cree que la direccionalidad asimétrica IHTT es la resultante de una asimetría en las conexiones del cuerpo caloso, con un mayor número de neuronas proyectando desde el HD al HI que a la inversa.

Otro estudio con el índice IHTT, realizado con una muestra de 84 hombres (media=17 años), no halló relación entre la velocidad neural de la transmisión interhemisférica, valorada por el IHTT, con el que la información es intercambiada entre los hemisferios, y la inteligencia (CI AMP)(Wolski y Necka, 1996). Los trabajos de Tan *et al.*(1999) también sugieren diferencias en la organización cortical, ya que para estos autores indicarían que las mujeres utilizan el área posterior cerebral mientras que los hombres utilizarían el área anterior en el proceso de las funciones intelectuales. En la discusión se explican apoyándose en las hipótesis de Bradshaw (1997) que sugiere que las estructuras cerebrales posteriores podrían estar más implicadas en inteligencia fluida. En resumen, parece ser que estos trabajos relacionan varios aspectos de la estructura cerebral con la inteligencia, especialmente con la de las mujeres, como los factores implicados en la transmisión de la información, tales como la organización cortical y la velocidad neural.

Nos parece oportuno aportar aquí un estudio dirigido a investigar el papel de las relaciones entre el tamaño del cerebro, capacidades cognitivas y medidas neurofisiológicas de *velocidad mental*. Egan, Chiswick, Santosh *et al.* (1994) examinaron los aspectos fisiológicos asociados al volumen cerebral y su relación con las diversas subescalas del WAIS-R en una muestra formada por 48 hombres y 2 mujeres con una media de edad de 22.5 años (sd=5). Utilizaron RM para las medidas del tamaño del cerebro y para el registro neurofisiológico utilizaron los tres componentes estándar de las ondas de BAEP: el N1 (refleja transmisión sensorial inicial, el P2 (un componente intermedio que refleja la velocidad de transferencia del input entre los estadios sensoriales iniciales y el procesamiento cognitivo inicial de la MCP) y el P300 (P3) (reflejo de la velocidad de procesamiento cognitivo). Correlacionaron el volumen total cerebral con el CI Total ($r=0.32$) y con la memoria, pero no especialmente con las medidas de velocidad de procesamiento. Este

resultado les sugiere una disociación parcial entre los mecanismos subyacentes a la inteligencia, y señalan, obviamente, que los procesos cerebrales, que afectan al funcionamiento intelectual, son diversos y requieren amplios estudios para una mayor comprensión de los procesos fisiológicos que median la cognición. Señalan que los estudios del metabolismo de la glucosa indicarían que algunos procesos cognitivos están particularmente bastante más basados en una rápida transmisión por un sistema neural eficiente que en la integridad del tejido cerebral, actividad o tamaño del cerebro (Vernon, 1990 citado por Egan *et al.*, 1994)... *La inteligencia requiere una diversidad de mecanismos físicos y de procesos funcionales implicados en la organización y transmisión de los impulsos nerviosos por la arquitectura neural que son probablemente más importante que el número y la diversidad de conexiones sinápticas dentro de arquitectura misma* (Egan *et al.*, 1994).

Para finalizar, en la **tabla 4.2.** incluimos, a modo de síntesis final de este capítulo, la valoración efectuada por Deary (2000a) de los principales indicadores cerebrales - objeto de revisión en esta tesis doctoral- en la aproximación biológica del procesamiento de la información.

El autor señala que en cuanto a la talla de la correlación de los indicadores con la inteligencia psicométrica (CI), en algunos casos, los efectos significativos están pobremente establecidos, especialmente para las medidas de los ERP. Destaca que hay algunas evidencias para una pequeña correlación entre el CI y la VCN. A pesar de que valora el índice VCN como una buena medida biológica, advierte que hay pocos estudios hasta hoy... *por el momento, parece estar basada en un parámetro fisiológico básico, y consideran que ...el tamaño (longitud) del cerebro no es un parámetro complicado, pero el mecanismo por el que se produce la correlación con el CI puede ser el puente para una gran laguna explicatoria* (Deary y Caryl, 1997 p. 370). Sobre el indicador VCN central, ya señalamos que el informe de Neisser *et al.* (1996) concluye que no se comprende la base de la correlación VCN- CI, lo que sí parece es que básicamente no es sólo una cuestión de velocidad.

En la valoración de Deary (2000a) se señala que algunos medidas de la función cerebral pueden ser consecuencia, más que *causa*, de los altos niveles de capacidad. Apunta que el problema es que la correlación entre los indicadores cerebrales y el CI puede explicarse porque puede estar en covariación con factores de alto nivel tales como, la atención, la formación de estrategias, el aprendizaje etc. Y también apunta que los indicadores cerebrales para la medida de los constructos funcionales, que supuestamente están contenidos en los indicadores accesibles a la medida, son frecuentemente poco claros; las medidas de la función cerebral atraviesan diferentes niveles de reducción, y en muchos casos, no está claro que estos indicadores sean elementales.

Así, en cuanto a la interpretación teórica de los constructos, que en principio

estarían valorados por la función cerebral medida por el indicador en cuestión, en muchos casos no está clara. Un ejemplo -que demostraría cuánto de escaso es el conocimiento- es acerca de la interpretación teórica de la correlación entre el índice de volumen cerebral y las puntuaciones de CI. Así, Deary (2000 a) alude que para interpretar ésta correlación, los investigadores tienden generalmente a invocar términos neurales como *eficiencia neural/ velocidad mental/ velocidad del procesamiento de la información/capacidad, ...utilizar todos estos términos sirve de pobres camuflajes para la ignorancia* (Deary, 2000a, p. 61).

El autor concluye que el índice del volumen cerebral es un indicador pobre e impreciso para la medida de la inteligencia (CI), a pesar de que la correlación volumen cerebral- CI es una de las mejor establecidas en la literatura. Cuyo significado permanece sin ser explicado (Vernon, Vickett, Bazana y Stelmack, 2000). Como ya hemos dicho anteriormente, para interpretar la asociación tamaño del cerebro-CI, algunos investigadores proponen varios parámetros neurales, sugiriendo que un mayor volumen capacitaría para un procesamiento neural más eficiente. Pero, Vernon *et al.* (2000) discurren que no es razonable argumentar dicha relación por un incremento en el número de neuronas (asociado al volumen cerebral) *per sé*. Ya que la variable número de neuronas tomada aisladamente no tiene significado funcional. Sino que Vaughan y Arezzo (1988) indican que los patrones espacio-temporales de la activación neural están relacionados con la arquitectura axonal y dendrítica en la que están comprendidos y con un determinado patrón de organización cortical, implicado en la transmisión la información.

En consecuencia, el estudio de las diferencias individuales en inteligencia psicométrica debe trazarse por la variación de la arquitectura funcional cognitiva (Deary, 2000a). Señalan Jensen (1998) y Reed y Jensen (1992) textualmente que...*el procesamiento de la información requiere para la inteligencia el uso de grupos de neuronas interconectadas en patrones corticales específicos. La organización (diseño) de las neuronas corticales dentro del órgano de funcionamiento cognitivo, el córtex cerebral, es claramente un requisito básico para la inteligencia* (p. 270).

Aunque mucha de la arquitectura funcional del cerebro es un misterio todavía, este tipo de investigaciones resultan clave para conocer la diferencias en la organización cortical implicada en la transmisión neural de la información. Es posible que con los recientes avances en la técnicas por RM funcional, como los realizados por el equipo de Logothetis *et al.* (2000), se pueda llegar a revelar la microarquitectura del córtex en el estudio de patrones de organización columnar cortical, implicada en la capacidad de procesamiento, para dilucidar la hipotéticas diferencias en la organización cortical del cerebro de las mujeres y del cerebro de los hombres.

En los estudios desde la aproximación biológica- señala Mackintosh (1998)- subyace la asunción de que las diferencias en los cerebros son la *causa directa* de las diferencias en las puntuaciones de CI. Aunque, el hecho de que haya correlación entre el CI y algunas medidas de la estructura o funcionamiento del sistema nervioso no es sorprendente; y se puede estar de acuerdo en que la actividad cognitiva está mediatizada por el cerebro y que las diferencias en su actividad o eficiencia se las relaciona con ser el reflejo de las diferencias fundamentales (estructurales, bioquímicas, genéticas) del cerebro. Pero el pronunciamiento, por parte de algunos investigadores, acerca de que las diferencias en el promedio de CI en los grupos humanos está en función del volumen de sus cerebros, no es razonable, ya que no es aplicable a la especie humana.

Tabla 4.2.- Valoración efectuada por I. Deary (2000a) (Adaptada de Caryl *et al.*, 1999) de algunos de los índices cerebrales desde la aproximación biológica del procesamiento de la información.

Medida	Correlación con la inteligencia psicométrica	Tratamiento Teórico	Causa o consecuencia de las puntuaciones de los tests psicométricos	Comentarios
Volumen cerebral.	0.4 a 0.5	Pobre: vago y propone constructos	Probablemente causa	
Velocidad de conducción nerviosa.	0.2 o menos	Bueno: medida biológica simple	Probablemente causa.	Pocos estudios hasta la fecha.
ERP "medida de cinta".	Contradictorio	Pobre. Los parámetros que gobiernan la varianza son especulativos.	Ambiguo. La respuesta puede ser una característica secundaria al nivel de inteligencia.	
Los TR en el paradigma de Hick.	< 0.25	Pobre: no es bien comprendido. "Ratio de ganancia de información", el supuesto constructo valorado por la medida de la pendiente de Hick, no ha sido probado que sea un correlato robusto de la inteligencia psicométrica.	Ambiguo: La pendiente puede ser debida al aprendizaje.	
Tiempos de Inspección	0.4 a 0.5 para capacidades no verbales	Problemático	Probablemente causa, pero discutible	

Nota: La valoración de los indicadores de Deary (2000a) está adaptada de Caryl, Deary, Jensen, Neubauer, Vickers (1999).

V. MÉTODO

5.1. Sujetos.

Los sujetos, que fueron seleccionados aleatoriamente de entre una población de estudiantes universitarios, firmaron un consentimiento libre y voluntario para la participación como sujetos experimentales después de ser informados de los motivos de la investigación, de las diversas pruebas a las que debían someterse, así como a las sesiones que preveíamos, de su duración y lugar de realización.

La muestra de estudio estaba formada por 20 sujetos voluntarios de edades comprendidas entre los 19 y 23 años. Con una media de edad de 20.55 años y una desviación estándar (sd) de ± 1.23 años. De los cuales 10 eran mujeres (con un media de edad de 20.40 años y una $sd=1.07$) y 10 eran hombres (con una media de edad de 20.70 años y una $sd=1.42$). En la tabla **tabla 5.1.(a)** presentamos los valores promedio relativos a las variables tales como la altura, el peso y la edad, en referencia a las características físicas generales de los sujetos experimentales.

Tabla 5.1(a).-Características generales de los sujetos. Descriptivos de valores medios, desviaciones estándar y valores mín. y máx. referentes a variables físicas.

	media (sd)	valores mín-máx.
Totales (N = 20)		
Edad	20.55 (1.23)	19-23
Altura corporal (cm)	173.40 (11.26)	155-190
Peso (kg)	62.35 (12.03)	45-81
Mujeres (N = 10)		
Edad	20.40 (1.07)	19-22
Altura corporal (cm)	163.80 (4.89)	155-170
Peso (kg)	52.20 (3.99)	45-57
Hombres (N = 10)		
Edad	20.70 (1.42)	19-23
Altura corporal (cm)	183.00 (6.25)	174-190
Peso (kg)	72.50 (7.78)	60-81

Nota de la tabla 5.1.(a): Los datos referentes a las medidas de variables físicas de altura y peso corporal fueron tomados indirectamente.

Previa administración de las pruebas de los potenciales evocados (VEP), la resonancia magnética (RM) y de los tests psicológicos para la medida de la inteligencia psicométrica, se realizó una entrevista o *screening* a cada uno de los 20 sujetos que formaban la muestra de estudio con el objetivo de recoger datos sobre variables sociosanitarias tales como el historial de patologías, la práctica de actividades físico/deportivas, consumo de tabaco u otras sustancias etc. (**tabla 5.2.**).

Tabla 5. 2. - De variables sociosanitarias.

V1:	Edad.
V2:	Altura.
V3:	Peso corporal.
V4:	Dominancia manual y visual.
V5:	Consumo de alcohol, tabaco u otras sustancias (estimulantes o depresoras del SNC).
V6:	Uso de medicamentos.
V7:	Práctica de alguna actividad físico-deportiva y número de horas dedicadas semanalmente.
V8:	Número de horas dormidas al día.

Este *screening*, al que fueron sometidos todos los sujetos, tenía como objetivo principal la selección de sujetos sin patologías psiquiátricas y/o neurológicas ni enfermedades que afectaran al SNC y también sin afecciones producidas por procesos patológicos o degenerativos de la visión. De este modo todos los sujetos que colaboraron en la realización del presente estudio fueron seleccionados según los siguientes **criterios de exclusión**:

1. Se excluyeron del estudio los sujetos que pudieran estar contenidos en la presente relación de enfermedades de la **tabla 5.2.** que pudieran afectar al SNC (*i.e.*, perturbaciones metabólicas, neuropatías y/o patologías psiquiátricas). Y en general, por enfermedades que afecten al sistema nervioso central o periférico.

Tabla 5.3.- Relación de patologías psiquiátricas y del snc y/o periférico.

- Hipotiroidismo, también en formas subclínicas.
- Hipertiroidismo.
- Funcionamiento anormal de la glándula tiroides en 10 años.
- Diabetes mellitus. Diabetes insulínica y no insulínica.
- Neuropatía diabética.
- Polineuropatía alcohólica severa.
- Esclerosis múltiple
- Artritis reumatoide.
- Enfermedades renales.
- Enfermedades cervicales.
- Enfermedad de Charcot-Marie-Tooth (neuropatía motora y sensorial hereditaria)
- Hemofilia.
- infección por HIV.
- Epilepsia. Uso de anticonvulsivos.
- Infarto cerebral.
- Quimioterapia.
- Enfermedades neurológicas hereditarias.
- Patologías psiquiátricas.
- Patologías oculares y lesiones en la vía óptica.
- Antecedentes de traumatismo craneoencefálico.
- Deterioro moderado a severo tanto motor como visual que pudiese interferir en la normal ejecución de los test psicológicos.
- Historia de alcoholismo o drogadicción.

2. Para la obtención de las pruebas por RM fue necesario descartar la posibilidad de que los sujetos fueran portadores de cualquier tipo de implante metálico corporal, tales como marcapasos cardíaco, prótesis metálicas, vasculares o auditivas. Así como algún tipo de clip quirúrgico o la posibilidad de presentar embarazo.

3. En cuanto a la obtención de las medidas de la inteligencia psicométrica (CI) mediante el test de Wechsler, no fue establecido ningún valor medio o punto de corte en cuanto a desviaciones estándar del valor medio del CI ($x=100$ y $sd=15$). Únicamente se hubieran descartado a los sujetos que presentaran en la ejecución del test una diferencia de 15 o más puntos entre el Cociente Intelectual Verbal (CIV) y el Cociente Intelectual Manipulativo (CIM) siguiendo

los criterios establecidos por Kaufman (1979).

En la **tabla 5.1. (b)** se presentan las características generales para cada uno de los 20 sujetos de la muestra y también presentamos los datos relativos a la información recogida acerca de variables sociosanitarias (**tabla 5.3.**). En lo concerniente al control las diferencias de lateralización cerebral potencial entre sujetos diestros y no diestros se procedió a elegir solamente sujetos de dominancia manual diestra. Así, el total de la muestra estaba formada por sujetos de manualidad diestra. En lo referente a la dominancia ocular (DO) se detectó, mediante la aplicación de pruebas de dominancia ocular de tipo conductual, que 13 sujetos de la muestra eran de DO diestra (65%), 6 sujetos con DO ambidiestra (30%) y 1 sujeto con DO izquierda (5%). Todos ellos presentaban visión normal o corregida.

Tabla. 5.1 (b). Características generales de los sujetos.

NÚM	SEXO	EDAD	VISIÓN	Dominancia manual	Dominancia ocular	h (cm)	p (Kg)	Fumador	Deporte (h/semana)	Hª patologías
1	M	20	C	D	D	155	50	SI	NO	NO
6	M	20	C	D	A	164	54	SI	NO	NO
7	M	20	C	D	A	165	56	NO	NO	NO
10	M	19	C	D	A	170	57	NO	NO	NO
11	M	21	N	D	D	169	54	SI	NO	NO
12	M	19	C	D	D	160	49	SI	NO	NO
13	M	22	C	D	D	160	50	NO	NO	NO
17	M	22	C	D	D	168	50	SI	NO	NO
19	M	20	C	D	A	167	57	SI	NO	NO
20	M	21	C	D	D	160	45	NO	2h.	NO
2	H	19	C	D	D	185	65	SI	NO	NO
3	H	21	C	D	A	190	80	SI	NO	NO
4	H	22	N	D	D	174	70	SI	4h	NO
5	H	22	N	D	I	190	80	SI	NO	NO
8	H	20	C	D	A	190	67	NO	1.30 h	NO
9	H	23	N	D	D	185	60	NO	NO	NO
14	H	21	C	D	D	180	66	SI	NO	NO
15	H	21	C	D	D	178	81	SI	3h	NO
16	H	19	N	D	D	184	80	NO	NO	NO
18	H	19	C	D	D	174	76	SI	NO	NO

Sexo: M, Mujer; H, Hombre; Visión: N, Normal; C, Corregida; Dominancia manual: D, Derecha; Dominancia Ocular: D, Derecha; I, Izquierda; A, Ambidextra; h, altura corporal; p, peso

5.2. Procedimiento general.

El presente estudio se realizó durante el período 1997-1999 y se llevó a cabo en tres sesiones, que quedaron distribuidas de la siguiente forma (tabla 5.4.):

Tabla 5.4.- Programación de las sesiones de valoración psicológica y experimentales.

Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3
1. Entrevista- <i>screening</i> : recogida de datos sociosanitarios	1. Escala de Inteligencia para adultos (WAIS) y AMP.	1. Resonancia Magnética (RM)
2. Pruebas conductuales de dominancia ocular.	2. Prueba de los potenciales evocados visuales (VEP).	

El examen se dividió en tres sesiones para controlar y evitar el efecto fatiga. La duración de cada sesión no excedía los 90 minutos. Antes de aplicar las pruebas, los sujetos se sometían a un cuestionario con el objetivo de controlar variables que podían influenciar y/o afectar a su rendimiento cognitivo (ver tabla 5.2.). Así, en la primera sesión, que se realizó en el Laboratorio de Personalitat i Diferències Individuals de la UB, los sujetos fueron sometidos a un *screening* individual para la recogida de datos sociosanitarios. Después, los sujetos seleccionados, realizaron las pruebas de dominancia ocular de tipo conductual.

En la segunda sesión, los sujetos realizaban la pasación individual del test de WAIS (Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos)(Wechsler, 1965) para obtener las puntuaciones del cociente intelectual (CI) de las escalas total, verbal y manipulativa. Así como una puntuación de CI para cada uno de los subtests individuales de la escala verbal (información, comprensión, aritmética, semejanzas, dígitos y vocabulario) y de la escala no verbal (clave de números, figuras incompletas, cubos de Kohs, historietas y rompecabezas). También se calculó la puntuación de CI para cada uno de los factores del WAIS (Comprensión Verbal, Memoria de Trabajo, Organización de la Percepción y Velocidad de Procesamiento) y la puntuación de CI para cada uno de los factores Gf-Gf-Gsar de Cattell-Horn. Así, también procedimos

a la aplicación de las Matrices Progresivas Avanzadas (AMP) de Raven para la obtención del CI. La valoración psicológica fue realizada siempre por la misma evaluadora-experimentadora y en las mismas condiciones ambientales.

Después, dentro de la segunda sesión, cada sujeto realizó la prueba de los potenciales evocados visuales (VEP). Los estímulos fueron elicitados y registrados por un *Nicolet Compact Four*. Para la obtención de las latencias y amplitudes del componente P100 y N100 se utilizó el paradigma estándar del patrón reverso de los VEP. Esta sesión se llevó a cabo en el Laboratori de Neurociència Cognitiva de la UB.

Finalmente, la tercera sesión se realizó en colaboración con l'Institut de Diagnòstic per la Imatge de l'Hospital de Bellvitge (IDI) (Barcelona) para obtener las imágenes por Resonancia Magnética (RM). Para cada sujeto se obtuvieron imágenes tomográficas en los planos sagital y horizontal del cerebro mediante un protocolo expresamente diseñado. Los escaners se obtuvieron mediante un operador de imágenes Philips Gyroscan Acs-Nt. Las imágenes fueron guardadas posteriormente en un disco óptico.

El procedimiento general seguido en nuestra investigación está estructurado en cuatro apartados. El primer **apartado 5.2.1.** lo dedicamos a describir el procedimiento para la determinación del parámetro tiempo. Para ello presentamos la descripción psicofisiológica de un registro de potenciales evocados visuales (*Visual Evoked Potentials*, VEP). Las latencias del componente P100, derivadas del patrón reverso de los VEP, serán utilizadas para la medida del tiempo de conducción nerviosa

El **apartado 5.2.2.** lo dedicamos a describir el procedimiento para la obtención del parámetro distancia. Para ello describimos un protocolo experimental por resonancia magnética diseñado específicamente para nuestros propósitos de estimar una medida *directa* estimativa de la longitud de la vía visual desde el plano transversal del cerebro. De igual modo, desde los planos sagitales del cerebro, obtendremos el parámetro distancia a partir de la medida del diámetro anteroposterior de la cabeza. Así pues, derivado de la determinación de los dos parámetros descritos en los apartados **5.2.1.** y **5.2.2.** (tiempo y distancia) pretendemos aplicar la medida desarrollada por Reed y Jensen (1992) para la obtención del índice de velocidad de conducción nerviosa neurovisual que describiremos en el **apartado 5.2.3.** Finalmente, el cuarto **apartado 5.2.4.** está dedicado a describir el procedimiento para la medida de la inteligencia psicométrica mediante los tests del WAIS y las AMP.

5.2.1. Determinación del parámetro tiempo de conducción neural mediante la latencia P100 de los VEP.

Para determinar el parámetro tiempo (t), nuestra investigación nos ocupará el estudio de los componentes N100 y P100 de los potenciales evocados visuales (VEP) sensoriales, los cuales se derivaran desde la actividad eléctrica del cerebro que se desarrolla durante los 250 ms siguientes a la estimulación por el patrón reverso. Para obtener una medida individual de variabilidad de respuesta cerebral utilizaremos la latencia del primer pico de la primera deflexión positiva, éste es el componente P100 en particular. Se trata del primer potencial eléctrico transitorio registrado en las posiciones Oz-Cz sobre le córtex visual primario.

La latencia pico P1 de las ondas VEP será utilizada como índice del tiempo de la transmisión neural, ya puede ser utilizada por ella sola como una medida del procesamiento global de la información correspondiente al tiempo transitorio requerido para la transmisión neural del estímulo desde que impacta en la retina hasta el córtex visual primario. Dicha latencia, que aparece alrededor de los 100 ms, está casi enteramente debida al tiempo de conducción nerviosa (después de los 40-50 ms requeridos para el procesamiento retinal), ya que solamente se realizan tres sinapsis en la vía visual, cuya secuencia se produce entre la célula del ganglión retinal y el córtex visual primario (Kandel y Shawartz, 1985 p 352-362, citados por Reed y Jensen, 1992 p. 260).

La técnica que emplearemos para derivar dicha latencia es la de los potenciales evocados visuales (VEP) elicitados mediante el test del patrón reverso de estimulación que describimos detalladamente en el **apartado 5.2.1.1.** Y para finalizar, en el **apartado 5.2.1.2.**, describiremos el registro de los VEP o ERP visuales que nos permitirá:

A./ Obtener una medida de variabilidad de respuesta cerebral mediante la elicitación de los componentes N100 y P100 de los VEP. La latencia P100 será utilizada como medida individual del parámetro tiempo de conducción neural (denominador) que utilizaremos en el posterior cálculo del cociente del índice de velocidad de conducción nerviosa neurovisual.

B./ Explorar las relaciones entre los parámetros (latencias y amplitudes) del patrón reverso de los VEP y el parámetro distancia

o longitud craneoencefálica en mujeres y hombres, y para la muestra total.

C./ Explorar la hipótesis del tiempo de la transmisión neural que predice que la inteligencia psicométrica no verbal (CI) estará asociada con latencias cortas y amplitudes grandes de los ERP sensoriales.

5.2.1.1. El test del patrón reverso de estimulación de los VEP.

La prueba estándar del paradigma de procesamiento básico de la información es el test del patrón reverso de los VEP (Chiappa, 1990). Según Oross y Woods (2003) la capacidad perceptivo sensorial testada es la agudeza visual que se refiere a la capacidad de discriminar pequeñas diferencias de luz para objetos de diferente tamaño. La **capacidad de discriminación de duración del tiempo visual** (la capacidad de discriminar estímulos de corta duración) es descrita como la capacidad para: discriminar el transcurso del tiempo entre dos eventos visuales o la capacidad para discriminar estímulos visuales basados sólo sobre su longitud de presentación (*i.e.*, TI). Puesto que, cuando en la tarea visual (no cognitiva), la duración del estímulo es breve, se asume que refleja procesos sensoriales.

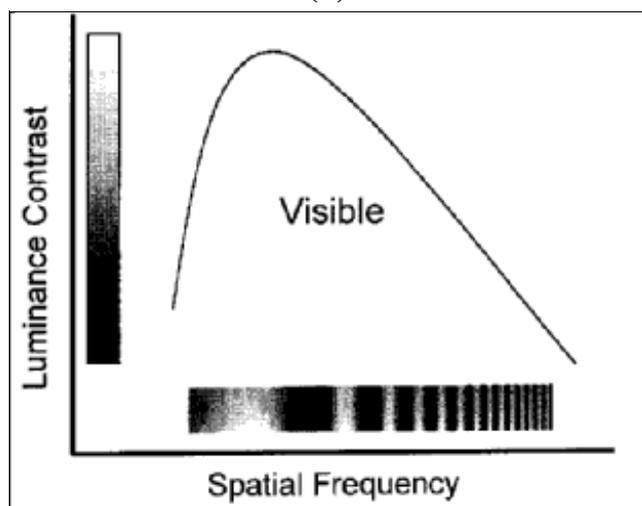
Las pruebas de agudeza visual (y/o sensibilidad de contraste) miden el tamaño mínimo de detalle que puede ser resuelto por el observador. La sensibilidad de contraste se mide con patrones periódicos espaciales como los cuadros del tablero, que son los estímulos generados por el patrón de estimulación de los VEP (**fig.5.1.a**). Los tableros de cuadros son variaciones periódicas de la luz en el espacio: los cuadros blancos (luz) y los cuadros negros (oscuridad) se van alternando regularmente (Viggiano, 1999).

La estimulación por el patrón reverso de los VEP viene determinada por el tamaño (o ángulo visual del estímulo) o número de cuadros del tablero, que pueden variar. Así, al aumentar el número de cuadros disminuye el ángulo visual ocupado por cada uno de ellos y en consecuencia aumenta la cantidad de estimulación que recibe la retina en cada ciclo. Aunque- según Oross y Woods (2003)- la capacidad de discriminar los detalles finos no sólo depende del tamaño de los cuadros, sino que una de las dimensiones importantes del estímulo visual es la **frecuencia temporal** con la que se alterna el cuadro, y otra propiedad básica analizada por el sistema

visual es la diferencia en el nivel de luz o la sensibilidad de contraste, que ya hemos descrito. Así, los tableros de cuadros difieren en frecuencia espacial (el número de ciclos en un grado del ángulo visual del estímulo) y en el contraste de luz (la diferencia de luz entre dos *bars* o tabletas adyacentes)(Viggiano, 1999). Para la visión temporal, en el nivel elemental de procesamiento, la información importante del estímulo es la que implica el conocimiento de los cambios del estímulo en el curso del tiempo.



(a)



(b)

Figs. 5.1. (a).- Estímulos visuales producidos por el tablero de cuadros de la prueba estándar de los VEP para testar la capacidad discriminativa sensorial. Tomado de Viggiano, 1999. (b). Representación de la función de la sensibilidad de contraste en forma de U invertida. El área bajo la curva, etiquetada de *visible*, indica las combinaciones de la iluminación de contraste y la frecuencia espacial. Tomado de Oross y Woods (2003)(En Soraci *et al.*, 2003)

Según Viggiano (1999), la sensibilidad de contraste es la recíproca del umbral de contraste (K), que es el valor mínimo del contraste con el que un cuadro puede ser detectado por un sujeto en una frecuencia espacial específica. En la **fig. 5.1. b.**, el área que está debajo de la curva etiquetada de *visible* define el umbral sensorial humano. En sujetos adultos normales, las relaciones de la sensibilidad de contraste y la frecuencia espacial asumen la función de una U invertida, que representa el umbral de la sensibilidad de contraste para las diferentes frecuencias espaciales que se determinan.

La capacidad de agudeza visual ha sido examinada en sujetos con retraso mental mediante los tests de sensibilidad de contraste, en los que se hallan pequeñas pero significativas pérdidas en todas las frecuencias espaciales (Oross y Woods, 2003). De igual modo, en éstos trabajos que cita Oross y Woods (2003), se observa deterioro en las tareas que requieren realizar una precisa codificación de las características temporales de los estímulos sensoriales y en la capacidad de discriminación de duración del tiempo visual. Con ello queremos reseñar la importancia teórica y el significado práctico de este tipo de tests.

En nuestro estudio, la prueba consiste en la presentación de estímulos visuales simples sin significado a través de un video-monitor de TV (con un ángulo visual de 12") que presenta una pantalla que formaba un tablero de cuadros blancos y negros (16x16 cuadros con un ángulo de estimulación visual de 30' por ciclo) de 12.5 mm de lado. Los estímulos visuales se presentan de manera reversible (de blanco a negro y de negro a blanco) a razón de una frecuencia de 1.9 cambios por segundo. Un ciclo corresponde a un cambio de patrón de estimulación (blanco/negro).

5.2.1.2. Registro de los VEP.

Los sujetos realizaron el registro de los potenciales evocados visuales en una habitación aislada electromagnéticamente e insonorizada, con un nivel de iluminación bajo y suficiente para que exista una diferencia entre el estímulo y la iluminación de fondo, de manera que se pueda prevenir la adaptación del ojo a la oscuridad. Los sujetos se sentaban en un sillón a un 1.4 m de distancia de la pantalla del monitor y se les instruyó en no moverse y en que fijaran la visión en un punto situado en el centro de la pantalla del monitor, sin mover los párpados. El sujeto, en situación de relajación, recibía pasivamente la estimulación visual generada por el

tablero de cuadros, es decir no realizaba tarea alguna.

El electroencefalograma (EEG) fue registrado con electrodos de disco clorificados Ag/Ag Cl fijados al cuero cabelludo con gel conductor en las localizaciones Oz (colocado sobre el córtex occipital) y Cz (en el vértex de la cabeza) (ambos en un plano sagital), con referencia a los mastoideos A1 y A2. El electrodo de tierra fue colocado en Fpz (Sistema 10-20, Jasper, 1958). Las impedancias de los electrodos estuvieron por debajo de los 5 KG (5000 Ohm) durante el registro llevado a cabo para cada sujeto. Los VEP fueron elicitados, cuantificados y registrados utilizando un sistema de electrodiagnóstico *Nicolet Compact Four* (Nicolet Biomedical Instruments, Madison, Wisconsin, EUA). El mismo con el que fueron generados los estímulos visuales.

Las características de la amplificación y filtrado del protocolo para los parámetros de adquisición de los registros fueron: Sensibilidad: 100 μ V. Filtraje: un paso de banda de 1-100 Hz (Pasa altos 100Hz y pasa bajos 1Hz). TME (tiempo análisis estimular) de 250 ms. Las medidas de latencias y amplitudes fueron registradas desde la colocación bilateral (bipolar) de los electrodos en las posiciones Cz y Oz. El registro se realizó mediante 2 canales; el canal 2 registra las diferencias de potencial entre el electrodo positivo (posición Cz) y el electrodo negativo (posición Oz) con el electrodo común en la posición Fpz. La diferencia entre los canales 1 y 2 equivale aproximadamente al Oz-Cz. Ambos se utilizan para detectar los componentes N100 y P100, los cuales fueron etiquetados de acuerdo con la convención polaridad/latencia (Donchin *et al.*, 1986).

Los potenciales con *artefactos* (se trata de potenciales extraños relacionados temporalmente con el estímulo, debidos a movimientos oculares o a otras causas), fueron rechazados automáticamente por el computador. Todos los promediados se realizaron para cada sujeto hasta ser completados correctamente. Las señales promediadas del *output* (Oz-Cz) fueron proyectadas sobre una pantalla. La localización se realizó por amplitud; la amplitud máxima del componente P100 en cada sujeto se obtuvo mediante la inspección del pico positivo entre 75 y 145 msec utilizando el cursor electrónico e incluyendo solo los picos claramente definidos. Dicho valor se consideró la medida de amplitud máxima en cada sujeto, así como la latencia del componente P100. Esta prueba duraba alrededor de los 30 minutos y se realizó en el laboratorio de Neurociencia Cognitiva de la UB.

5. 2. 2. Determinación del parámetro distancia (longitud de la vía visual) mediante Resonancia Magnética (RM).

La determinación del parámetro distancia o longitud de la vía visual en el estudio de Reed y Jensen (1992) se realizó de manera indirecta a partir de la medida antropométrica del diámetro de la cabeza utilizando métodos considerados poco precisos (*i.e.*, compás antropométrico). Estos autores suponen que la medida de la longitud de la vía visual, derivada de éste procedimiento, puede ser una medida aproximadamente proporcional a *la verdadera* longitud de la vía visual (retina-CVP). De manera que suponen que la correlación entre el índice (VCN) en la vía visual *aproximada* y la inteligencia psicométrica (CI) puede utilizarse como una estimación de la correlación entre la VCN visual *verdadera* y el CI ($r_{xy} = r_{cxy}$, donde x e y son variables y c es una constante). Es decir, presuponen una teórica y constante relación cuantitativa entre las variables, lo cual, como se puede deducir no puede ser siempre cierto.

Con el procedimiento seguido por estos autores ha de considerarse que la medida antropométrica del diámetro de la cabeza, incluye además del cerebro, la medida de las meninges, el cuero cabelludo, hueso craneal, pelo, etc. De manera que cabe plantearse la posibilidad de que no sea una estimación demasiado *precisa* de la longitud de la vía visual *verdadera*. Ya que la *impresión técnica* en la medida posiblemente influya en la medida de la longitud total, por cuanto, el aumento o disminución de la estimación de la misma, puede determinar variaciones en el parámetro distancia en el cálculo del cociente de la VCN que incidirá posteriormente de forma desconocida sobre la magnitud de la correlación entre el indicador VCN y la inteligencia psicométrica (CI).

Creemos importante insistir en el hecho de que lo que intentamos cuantificar, o más exactamente estimar, es la longitud de la vía visual completa. La validez de esta cuantificación vendrá determinada por el procedimiento de un protocolo válido para ello y de la precisión del método utilizado para la medida.

En general, vimos anteriormente que en los estudios de la clínica neurológica, la estimación de la VCN periférica se obtenía midiendo la distancia entre el sitio de estimulación y el lugar de registro del nervio periférico. A pesar de las diferencias, entre el sistema nervioso periférico y el central, nos planeamos que para el cálculo de la VCN en la vía visual la medida del parámetro de la longitud de la vía visual debe plantarse desde la visualización anatómica del nervio óptico y la trayectoria de las radiaciones ópticas hasta el córtex visual primario.

Con el propósito de ganar precisión en la medida de la longitud del segmento de

la vía visual pensamos que habíamos de intentar de introducir mejoras metodológicas. En relación a ello, es evidente que la elección del método más válido y preciso es mediante la técnica de la Resonancia Magnética (RM), que permite obtener imágenes en tres dimensiones haciendo posible que a partir de una imagen tridimensional reconstruida se pueda visualizar la trayectoria *real* de la radiación del nervio óptico (NO) a lo largo de su recorrido anatómico por la vía visual hasta el CVP. Para ello diseñamos un protocolo experimental por RM que describimos en el apartado **5.2.2.2**.

Entrando ya en el planteamiento de los objetivos específicos de este estudio, pensamos que aplicando la RM nos permitirá solventar los problemas de precisión en la estimación válida del parámetro distancia. Así pues, a partir de las imágenes del cerebro obtenidas mediante el diseño de un protocolo específico por RM se han podido plantear los siguientes objetivos:

A./ Obtener una imagen reconstruida a partir de los planos transversales del cerebro para identificar la trayectoria anatómica de la radiación del nervio óptico y otra imagen a partir de los planos sagitales del cerebro.

B./ Determinar el parámetro distancia a partir de las medidas estimativas de la longitud de la vía visual obtenidas sobre los planos sagital y transversal del cerebro. Dicho parámetro será utilizado como numerador para el cálculo del cociente del índice VCN. Compararemos las diferentes medidas de longitud que obtendremos en ambos planos del cerebro entre ellas, y a su vez, comparemos los distintos índices de VCN derivados de éstas medidas de longitud.

C./ Analizar y comparar los datos de nuestro estudio con los obtenidos en otros estudios similares realizados con parámetros antropométricos derivados de métodos considerados menos relevantes e imprecisos.

D./ Indagar la posible asociación entre las puntuaciones de inteligencia psicométrica (CI) y el parámetro de longitud craneoencefálica (que es una medida de tamaño cerebral), con el objetivo de valorar si éste último actuaría de covariante para la posible correlación entre el índice VCN y el CI.

5. 2. 2. 1. Métodos de exploración del cerebro por imágenes: La RM en la exploración del nervio óptico y de la vía visual.

Los principales métodos para la exploración del cerebro por imágenes son la *Resonancia Magnética* (RM) y la *Tomografía Axial Computerizada* (TAC). Nos circunscribiremos al estudio radiológico de la vía visual y haremos una serie de consideraciones generales en cuanto a las ventajas e inconvenientes para la utilización de ambas técnicas en relación a nuestro estudio.

Básicamente, la TAC es una técnica radiológica clásica que permite visualizar imágenes secuenciadas de un segmento del cerebro o de su totalidad mientras que la radiología ordinaria, basada en la utilización de los rayos X, solo ofrece una vista en proyección del volumen irradiado. Su falta de contraste para con los tejidos blandos y su peligrosa radiación (superior a los 5mRem) hicieron que entrara en declive.

La RM es mejor para visualizar los detalles del tejido blando, y la TAC o TC, para estudiar los detalles óseos. La TC presenta el inconveniente de las radiaciones ionizantes, ya que esta técnica se basa en los rayos X. Las dosis de radiación al cristalino, suele oscilar alrededor de 5 rads por plano de visualización (Mafee *et al.*, 1986). La RM, por otra parte, carece de efectos secundarios biológicos conocidos, aunque se desconocen los efectos que a largo plazo pudieran presentar los campos magnéticos tan intensos.

La Resonancia Magnética (RM) está considerada una técnica que proporciona una estimación válida para el estudio de las estructuras y volúmenes cerebrales *in vivo* permitiendo obtener imágenes longitudinales y transversales del cerebro. En la TAC cuando hay una imagen muy densa se pueden producir estrías que dificultan la interpretación y en la RM se promedian los datos por la computadora de manera que no se producen dichas estrías.

La RM es similar a la TAC en la visualización de estructuras internas del cerebro. Aunque las imágenes construidas por RM ofrecen información anatómica similar a la TAC, la RM presenta más finura de detalle y obtiene cortes más precisos en forma directa en cualquier dirección, y la TAC presenta un mayor poder de resolución espacial 1.5-2 mm frente a 1mm de la RM. La RM no puede utilizarse para la evaluación si se sospecha de la presencia de un cuerpo ferromagnético.

En resumen, la RM presenta grandes ventajas frente a la TAC: ausencia de irradiaciones y artefactos por hueso y gas, buena resolución y contraste de las partes blandas y la obtención de modelos e incluso de imágenes tridimensionales. Así, es

lógico pensar que, en la actualidad, la RM, que además está considerada como una metodología ética para la realización de estudios con sujetos humanos, es el método indicado para la exploración de la vía visual contemplado a nivel experimental. Ya que también valoramos como un inconveniente el alto coste económico y el difícil alcance para los profesionales de esta técnica.

Debido a que la RM es la técnica que vamos a utilizar en nuestro trabajo, creemos necesario pasar a describir breve y esquemáticamente dicha técnica. Para esta exposición seguiremos a Gili, Capdevila *et al.* (1997) y a Pujol, Vendrell *et al.* (1995).

La *Imaginería por Resonancia Magnética* (IRM) utiliza el fenómeno de resonancia magnética nuclear para detectar y cuantificar las variaciones de imanación de una sustancia. Para la obtención de una serie de imágenes tomográficas (visualización de una sección del objeto explorado) se debe exponer el objeto en cuestión, el cerebro, a un campo magnético donde ciertos núcleos atómicos como el hidrógeno entraran en resonancia al estar dotados de un pequeño momento magnético.

Estos momentos magnéticos o espines (momento angular intrínseco a un sistema) tienen varias orientaciones posibles en el espacio. Ciertas partículas elementales como los electrones y los protones, además de los núcleos atómicos, pueden absorber selectivamente energía electromagnética de radiofrecuencia al ser colocados bajo un potente campo magnético. El exceso energético es liberado en forma de emisión de radiofrecuencia en un proceso llamado de *relajación*. Durante la relajación se induce una señal emitida por los núcleos que es detectada por una antena receptora. Dicha señal es analizada en función del tiempo y codificada mediante los llamados gradiente magnéticos. La síntesis de todas las señales se realiza mediante un tratamiento por ordenador, de manera que se puede reconstruir una imagen tridimensional presentada en cortes secuenciales o la imagen tomográfica en RM.

En la actualidad, en el ámbito de la medicina y en neurociencia, el interés se centra por la **RM funcional (fRM)** porque ésta técnica permite el estudio de función cerebral de manera incruenta. Existen varios métodos para detectar la actividad cerebral mediante fRM. Por ejemplo, con el método de la oxigenación venosa, en el cual los cambios en la señal de RM dependen de las concentraciones de oxígeno. Entonces la fRM, al detectar los cambios vasculares y metabólicos en el córtex cerebral, informa de la actividad cerebral que entra en funcionamiento en diferentes regiones del cerebro durante la realización de una tarea específica. Aunque, como se señala en Pujol *et al.* (1995), la actividad cerebral que se observa con la fRM no es propiamente la actividad neuronal. Con éstos métodos de exploración se observan

los cambios metabólicos y vasculares secundarios a la activación cerebral regional. La actividad eléctrica neuronal cambia en milisegundos, mientras que los cambios funcionales detectables con fRM ocurren en el orden de segundos.

Éstas técnicas que hemos descrito, también se utilizan en el contexto de la investigación radiológica de las vías ópticas para el diagnóstico y evaluación de diversas lesiones y patologías oculares. En la **figura 5.2.**, y a modo de ilustración, presentamos un esquema y una imagen por RM que muestra los distintos puntos seleccionados para realizar varias mediciones en la vía visual a la altura del plano de los nervios ópticos.

Así, para realizar nuestras mediciones en la vía visual, la técnica de la RM permite obtener imágenes reconstruidas para la demostración del curso entero de la trayectoria del nervio óptico por la vía visual, objeto de nuestra exploración. Puesto que la técnica permite revelar las estructuras anatómicas de interés en la demostración de los nervios ópticos, las secuencias de imágenes del quiasma, de los tractos ópticos, de los cuerpos geniculados, las radiaciones ópticas y los lóbulos occipitales. Seguiremos a Weber *et al.* (1996) y a Bustamante (1988) en la siguiente exposición sobre anatomía para la evaluación y medición de la trayectoria del nervio óptico y de la vía visual:

El Nervio Óptico (NO) es un tracto de fibras nerviosas que transmite la sensación visual. El NO es en realidad un fascículo cerebral que nace en la capa ganglionica de la retina y está formado por fibras mielinizadas como la sustancia blanca del SNC. Por lo tanto está formado por células de oligodendroglia, no por células de Schwann como el SNP. Dentro de la órbita, el curso del NO es serpenteante (con curvas mínimas en forma de S). Recorre el canal óptico con la arteria oftálmica, cursa hacia adelante y hacia el lado dentro del cono de los músculos rectos y penetra en el globo ocular inmediatamente por dentro del polo posterior del globo ocular.

El NO está recubierto por tres capas, que son prolongaciones de las meninges craneales: piamadre, aracnoides y duramadre. Todas ellas envuelven al nervio y se extienden desde el canal hacia adelante hasta el globo ocular. La piamadre está muy vascularizada y se encuentra adherida al NO. El espacio subaracnoideo, que se forma alrededor del nervio, está lleno de fluido cerebro espinal (CSF) y se continúa y comunica con el espacio subaracnoideo del cráneo. El NO pasa en sentido posteromedial desde el globo ocular y deja la órbita a través del canal óptico para entrar en la fosa craneana media y se une al nervio óptico del otro ojo en el quiasma óptico, literalmente *la cruz óptica* (Wilson *et al.*, 1991). Los NO intracraneales se extienden posterior y medialmente en sentido ascendente en un ángulo de 45 grados hasta alcanzar el quiasma. La medida del nervio óptico hasta el quiasma óptico es

de alrededor de 45 -50 mm de longitud y de 4 mm de diámetro.

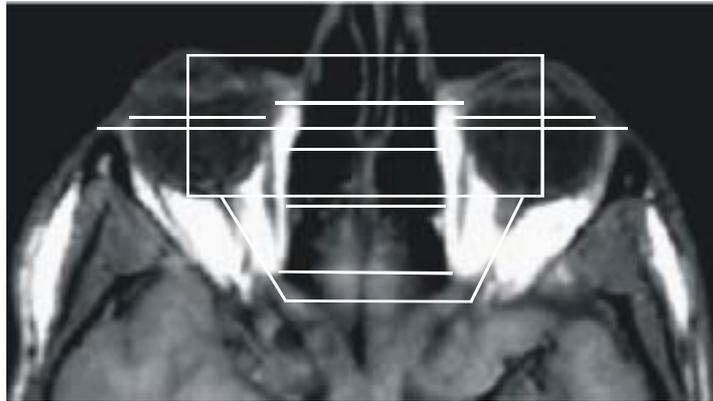
Quiasma Óptico: está situado por encima el cuerpo del hueso esplenoide aproximadamente entre 5-10 mm por encima de la glándula pituitaria. El quiasma mide aproximadamente 8 mm en dirección anteroposterior, 12 mm de ancho y 4 mm de grosor. Dentro del quiasma, se produce hemidecusación de las fibras nerviosas del NO, y aproximadamente la mitad de los axones de cada nervio óptico se cruzan en la línea media.

El Tracto Óptico: diverge desde el quiasma óptico posteriormente a través de los pedúnculos cerebrales hasta terminar en el núcleo geniculado lateral (NGL). Cada tracto óptico está compuesto de fibras aferentes visuales y pupilares cruzadas y no cruzadas desde los respectivos ojos. Las fibras en el tracto óptico sinaptan en el NGL del tálamo (segunda sinapsis).

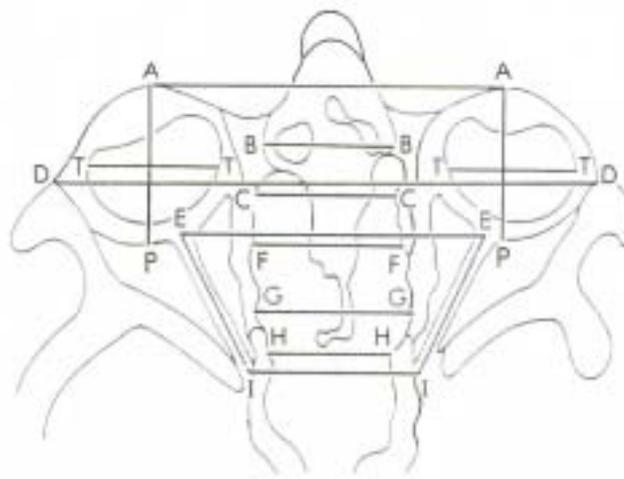
Núcleo Geniculado Lateral (NGL): Es una porción del tálamo donde terminan todas las fibras aferentes de la vía visual. Las fibras que se originan en las células ganglionares de la retina hacen sinapsis con las fibras visuales formando las radiaciones geniculocalcarinas. Los axones geniculocalcarinos se extienden sobre un área relativamente amplia de los lóbulos temporales.

Radiaciones Ópticas: Las radiaciones ópticas (RO) están compuestas por tres grupos principales de fibras: (1) las fibras de la porción superior de las RO van al córtex visual primario (campo visual inferior) (2) las fibras de la porción inferior que enlazan a lo largo del sistema ventricular dentro del lóbulo temporal (campo visual superior). Las fibras inferiores también están encerradas dentro de una capsula interna y enlazan anteriormente a lo largo del lóbulo temporal, lo que se conoce como el Asa de Meyer, y (3) las fibras de la porción central que van a la mácula.

Córtex Visual Primario de los lóbulos Occipitales. Las radiaciones ópticas terminan en el córtex occipital, que es donde se produce la tercera sinápsis. El CVP (área 17 de Brodmann o área visual 1, VI de forma abreviada), también llamado córtex estriado porque contiene una banda prominente de sustancia blanca compuesta de axones mielinizados procedentes del tálamo y de otras áreas corticales), está situado a lo largo de la fisura calcarina. En humanos, el VCP es de 2 mm de grosor y, como todas las áreas del neocórtex, consta de seis capas de células.



(A)



(B)

Fig.5.2 (A). La RM Axial de las órbitas a la altura del plano de los nervios ópticos, muestra el contorno de los globos oculares, los cristalinios, los cuerpos vítreos, y los compartimentos grasos intraorbitarios. **(B)** El esquema muestra los distintos puntos seleccionados para realizar varias mediciones de la vía visual. Por ejemplo: AA: Distancia interpupilar; EE: Distancia entre los nervios ópticos en el punto de entrada de los globos oculares; EI: Longitud de la parte intraorbitaria del nervio óptico (Adaptado de Mafee *et al.* (1986): *CT In the evaluation of the orbit and bony interorbital distance*).

5. 2. 2. 2. Descripción del protocolo experimental.

El protocolo de procedimiento, en general, consistirá en la obtención del mayor número de tomografías seriadas por resonancia magnética (RM) en los planos sagital y transversal del cerebro que abarcan toda la vía visual completa (Nervio Óptico- Tracto Óptico- Radiación Óptica). En las **figuras 5.3. y 5.4.**, podemos ver el protocolo experimental compuesto por 19 cortes tomográficos en el plano sagital y en 25 cortes transversales respectivamente, que ocupaban el paralelepípedo de la vía visual. Para la elaboración de este apartado hemos consultado el atlas de cortes anatómicos de Möller *et al.* (1996).

En la exploración por RM, las imágenes tomográficas fueron obtenidas con un imán de 1.5 TESLAS con gradientes de 30m TESLAS por un operador de imágenes (Philips Gyroscan ACS-NT®) de dimensiones 240 x188 x157 cm. Y fue realizada en l'Institut de Diagnòstic per a l'Imatge de Bellvitge (IDI) (Barcelona).

Seguidamente pasaremos a detallar el procedimiento para la obtención de la imágenes así mismo como se centraba y delimitaba el área de la zona a estudiar de los sujetos experimentales.

Para la obtención de las imágenes se introducía al sujeto experimental dentro de un imán sobre una camilla en posición decúbito supino, previa delimitación y centraje de la zona a estudiar. Para la obtención de la señal de RM, el sujeto fue colocado en el campo magnético (imán de 1.5 TESLA). La duración de la prueba fue de aproximadamente 15 minutos para cada sujeto.

La zona a estudiar en los sujetos se centra mediante un haz luminoso a nivel de comisura orbitaria. La emisión de radiofrecuencia (RF) se realiza mediante una antena emisora-receptora de cuadratura que produce una señal de radiofrecuencia (en Mhz) que tratada convenientemente sirve para la obtención de las imágenes tomográficas en RM. El sujeto queda fijado a dicha antena mediante una cinta de Velcro ®. Con el objetivo de controlar al máximo la aparición de posibles artefactos, producidos por el movimiento de los ojos o la respiración, se solicitaba a los sujetos que fijaran la mirada en un punto fijo de visión situado en un punto imaginario central respecto de él. Dado que no es posible acomodar la visión dentro del *gantry* o túnel de exploración que mantuviera inmóvil ambos globos oculares.

La señal de relajación (S), que es recogida por la antena emisora-receptora, es transformada por un sistema informático y mediante potentes ordenadores, se obtiene un formato de imagen, dicho de RM. En las que por diferentes intensidades se permite establecer la diferencia entre distintos tejidos. Las tomografías serán

digitalizadas automáticamente mediante el contraste de los diferentes tejidos según su gradiente de intensidad en una escala de 256 niveles de grises.

A continuación, pasaremos a hacer una descripción detallada del protocolo de obtención de las tomografías de ambos planos sagital y transversal separadamente. Así como los objetivos que se pretendían con ello.

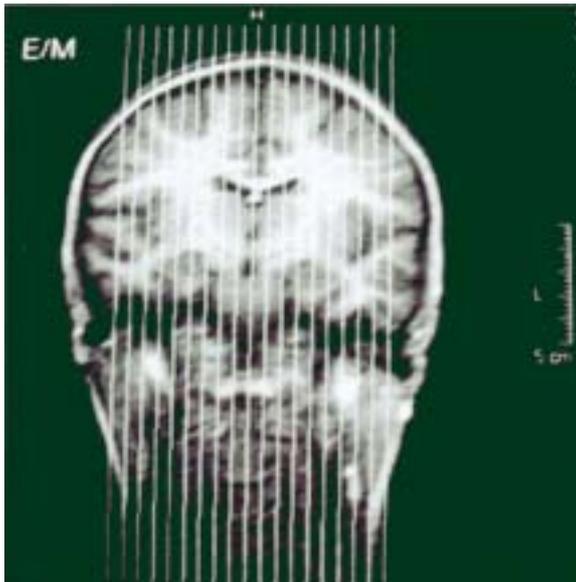
5.2.2.2.1. Descripción del protocolo para la obtención de la medidas en el plano sagital.

Para el objetivo de obtener una medida del diámetro anteroposterior de la cabeza, se diseñó un protocolo en el cual se tomaron secuencias en el plano sagital del cráneo (**ver fig.5.3.**). Con éste procedimiento, el diseño de los cortes tomográficos cráneo-sagitales permitía incluir de forma global el sistema nervioso central del sujeto. Se obtuvieron 19 cortes sagitales que iban desde el límite externo del peñasco temporal izquierdo al contralateral. En el estudio de dichos cortes en los planos sagitales por RM potenciada se empleó una secuencia de T1 SPIN ECHO. Elegimos esta programación de secuencias de pulsos ya que permite obtener una información anatómica del cerebro.

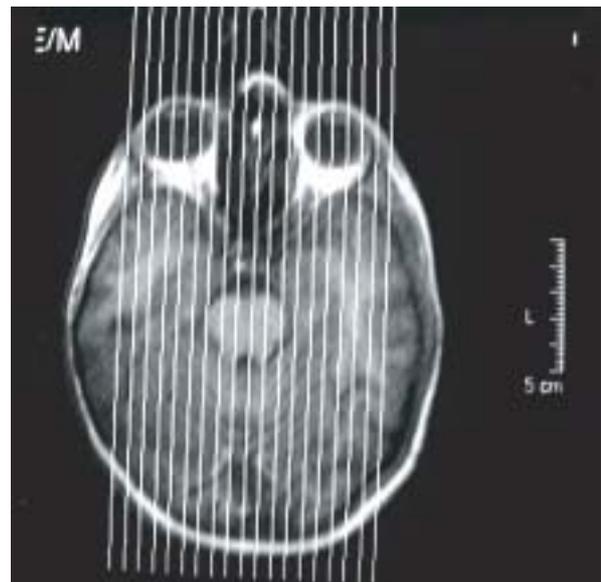
Los parámetros de adquisición fueron: tiempos de repetición= 514 ms; tiempo de Echo = 15 ms; ángulo de pulso de 90° con una matriz de adquisición de 205 x 256 píxels, y una media de señal-ruido de 2 (NSA-2).

Los 19 cortes que fueron realizados en el plano sagital, en una sola secuencia o tiempo de exploración (3'20"), permiten obtener un paralelepípedo que permite el estudio completo del SNC y orbital (**ver figura 5.3.**). Esta secuencia permitía la adquisición de 19 imágenes o tomografías en el plano sagital con un grosor de corte de 5 mm de espesor y un intervalo entre corte o *gap* de 0.5 mm. Las imágenes del plano sagital se obtuvieron con un campo de visión (FOV) de 250 mm. Características éstas que se consideran idóneas para este tipo de estudios (*i.e.*, Warmuth-Metz; Nauman *et al.*,2001).

De la secuencia de los 19 cortes tomográficos sagitales se utilizó el corte sagital-medial sobre el que fueron obtenidas las medidas del parámetro distancia (**figura 5.5.**). Así, desde este plano sagital-medial se hallaron las dos medidas del diámetro anteroposterior de la cabeza: **(1) Dia-Ext.** (desde el eje antero-posterior externo) y **(2) Dia-Int.** (desde el eje antero-posterior interno) (**figura 5.6.**). Las cuales pasaremos a comentar detalladamente.



(A)

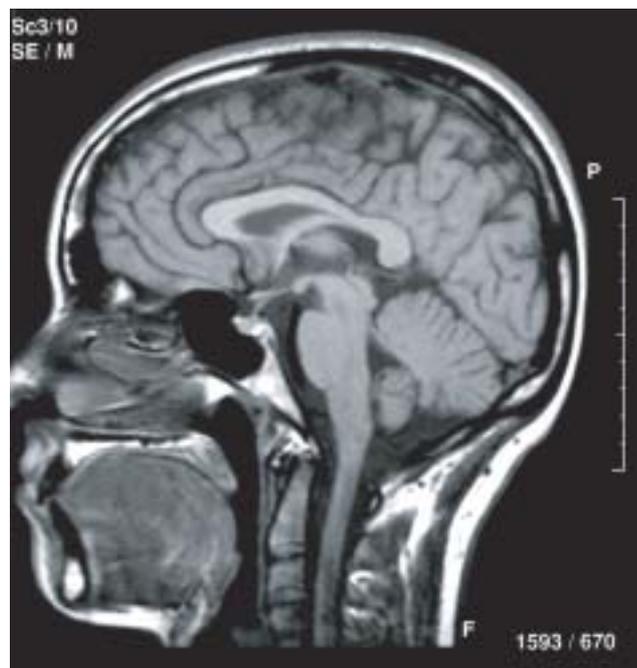


(B)

Sobre las imágenes A y B se sitúa una secuencia sagital de 19 cortes que engloban el máximo del cráneo. Y se obtiene:

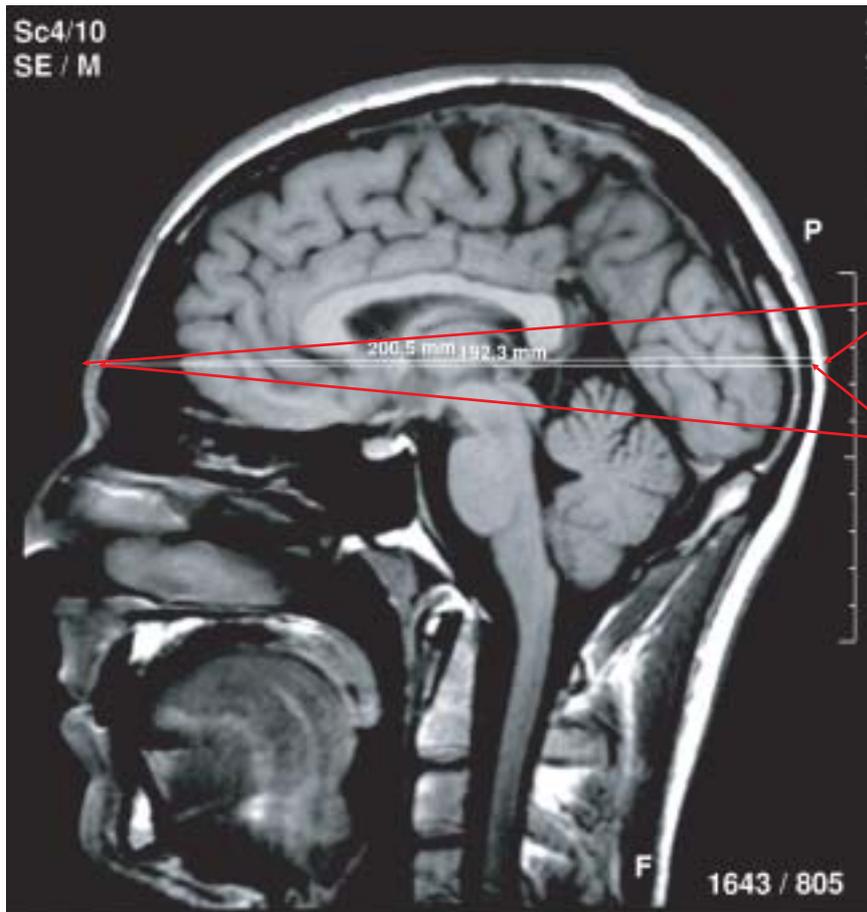
FOTO DE LA PLACA EN EL PLANO SAGITAL

De los 19 cortes tomográficos de las imágenes obtenidas se utilizó un corte o plano sagital-medial sobre el que realizamos las medidas anteroposterior interna y externa de la cabeza.



(C)

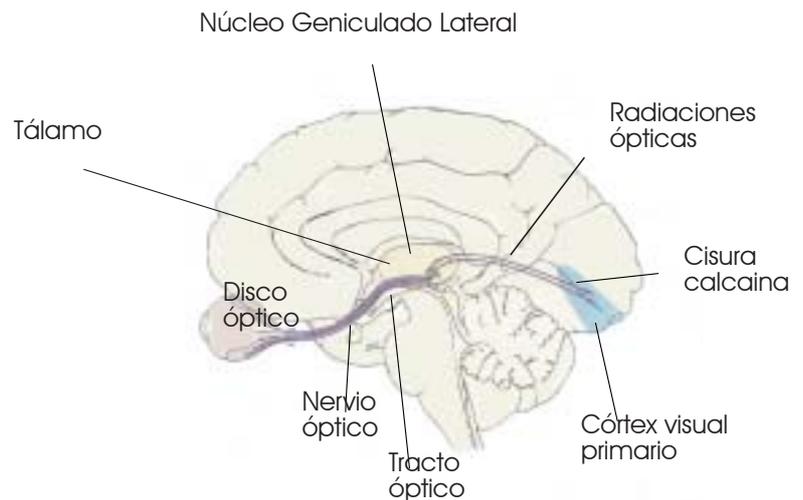
Fig. 5.5.- Secuencia de los 19 cortes tomográficos del 1 al 19 (planos superiores (A y B) a partir de los cuales se obtiene el plano sagital-medial (plano inferior C).



1. Dia-Ext. (Eje anteroposterior externo) = 200,5 mm

2. Dia-Int. (Eje anteroposterior interno) = 192,3 mm

A.



B.

Fig. 5.6.- A. Mediciones en el plano sagital-medial, donde se indica el diámetro anteroposterior interno y externo de la cabeza en un sujeto experimental. B. Dibujo simplificado de las proyecciones desde la retina a las áreas visuales del tálamo (NGL) y al córtex visual primario. Adaptado de Kandel *et al.* (1997).

Medidas obtenidas mediante el plano sagital-medial:

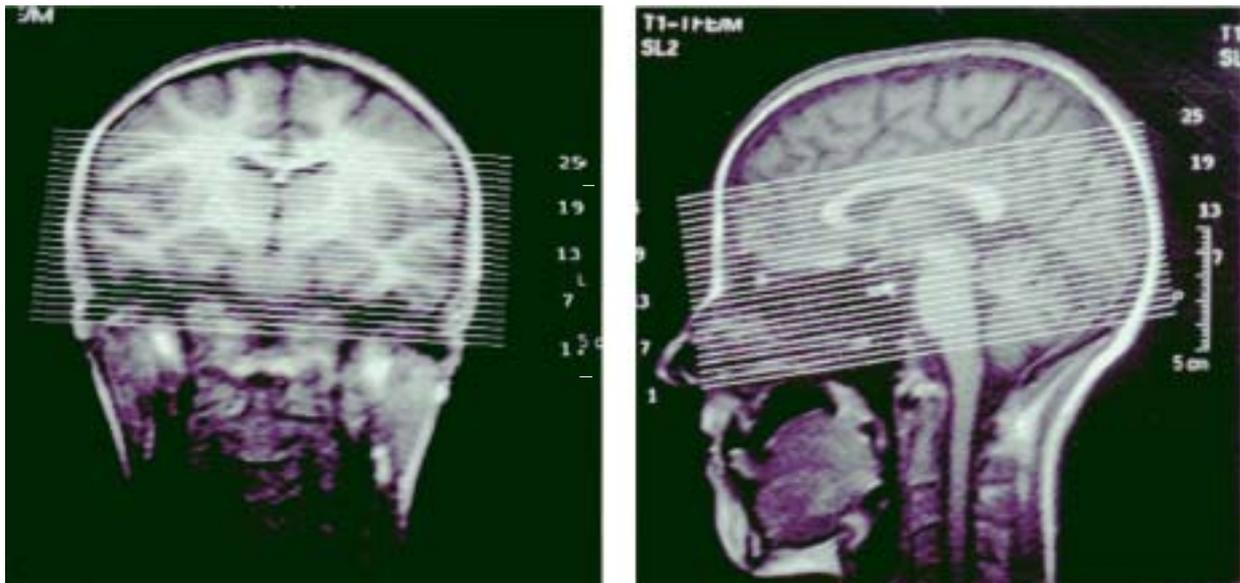
- 1) Dia-Ext:** Es la medida del diámetro externo del cráneo. Para obtener esta medida, en primer lugar, se procedió a realizar la identificación anatómica entre el Nasion y el Inion y luego se trazó una línea máxima cortical completamente recta. Lo cual era importante para proceder al trazo exacto de la segunda línea cortical (Dia-Int.) ya que debía ser paralela a ésta primera. Esta medida del diámetro externo del cráneo incluía el grosor en mm de la capa de piel que recubre el cráneo y correspondería a longitud externa de la cabeza que es la distancia en mm entre la *gabella* y el punto extremo opuesto sobre la línea media en el parte posterior de la cabeza. Dicha medida se calculó para compararla con otras medidas del diámetro externo de la cabeza, obtenidas a partir de procedimientos considerados de menor precisión que la RM.
- 2) Dia-Int:** Es la medida del diámetro interno del cráneo. En la obtención de esta segunda medida se trazó una línea paralela a la anterior (Dia-Ext) entre la línea cortical de la tabla externa del seno frontal a la línea cortical de la tabla externa del Inion. Esta medida de diámetro interno del cráneo se realizó también con el objetivo de compararla con la anterior medida y, a su vez, comparar ambas con la tercera medida que obtendremos mediante el protocolo del plano transversal.

5.2.2.2. Descripción del protocolo para la obtención de las medidas en el plano transversal reconstruido.

Para la identificación de las estructuras anatómicas que abarcan toda la vía visual (Nervio Óptico-Tracto Óptico-Radiación Óptica) se diseñó un protocolo de tomografías seriadas en el plano transversal (**figura 5. 4.**). Para ello se realizó una secuencia potenciada de T1 SPIN ECHO, con 25 cortes transversales, de 3 mm de grosor, que se superponen. Con un tiempo de relajación = 664 ms y, un tiempo de echo = 15 m, un ángulo de vasculación de 90° y una FOV=210 mm, y con un NSA de 3 (NSA-3). En una matriz de 256 x 218 pixels.

Así, a partir de la imágenes transversales, el protocolo tenía como objetivo obtener un volumen que se considera un 3-D, en el cual mediante un programa de gestión

de imágenes llamado EASYVISION nos permitió obtener una imagen reconstruida o final en el mismo plano transversal, pero con cierta angulación respecto de las imágenes de base, y que en su angulación coincidiera en ella las estructuras anatómicas de interés, objetivo principal de estas exploraciones por RM. Así, la imagen no es hallada directamente, sino que tuvo que reconstruirse, ya que un corte simple del plano transversal-medial no permitía visualizar la trayectoria de la radiación del nervio óptico desde su origen en el polo posterior del globo ocular hasta el lóbulo occipital. Sobre la imagen axial reconstruida se obtuvo la medida (3) compuesta por el sumatorio de la segmentación de la vía visual en varios trazos sobre la identificación de la trayectoria anatómica de la radiación óptica (cintilla óptica). Esto es, globo ocular-quiasma óptico-núcleo geniculado-lóbulo temporal-córtex occipital(**figuras 5.7. y 5. 8.**).

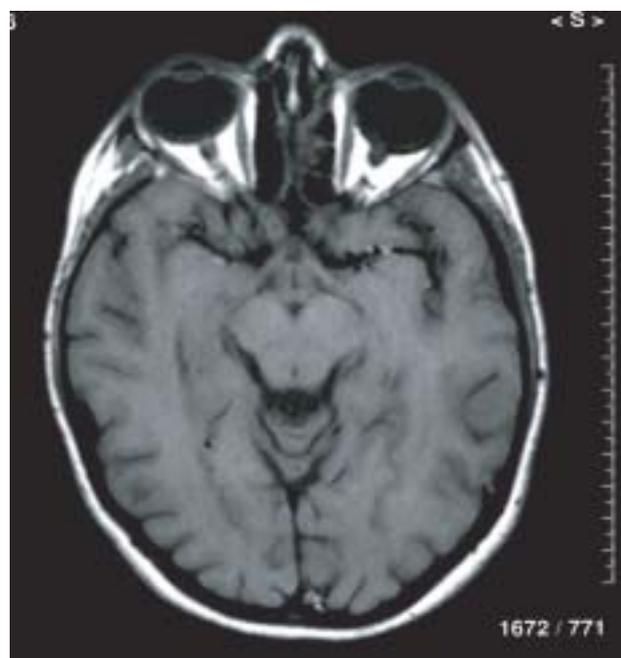


(A)

(B)

Se realiza una secuencia en el plano axial paralelo al supuesto trayecto de las vías ópticas y se obtienen 25 cortes tomográficos, a partir de los cuales se reconstruye en el EASYVISIÓN un plano axial o transversal que permite visualizar el máximo al nervio óptico y a las vías ópticas.

FOTO DEL PLANO AXIAL RECONSTRUIDO EN 3-D



(C)

Fig.5.7.- Secuencia de los cortes tomográficos del 1 al 25 en las fotos A y B, a partir de los cuales se obtiene el plano transversal reconstruido en 3-D en la foto (C).



SEGMENTACIÓN DE LA VÍA VISUAL:

1.N-Op (Retina-NO-QO)= 43,8 mm

2.QUI_NG (QO-NG) = 21,4 mm

3.Radiación Óptica (TO-RO-CVP) =

Temp 1= 19,1 mm

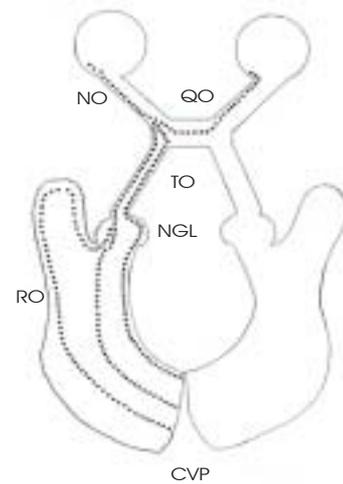
Temp 2= 42,0 mm

Temp 3= 65,9 mm

Total Suma NO-Ocp = 192,2 mm

A.

NO Nervio Óptico
 QO Quiasma Óptico
 TO Tracto Óptico
 RO Radiación Óptica (NO-TO-CVP)
 NGL Núcleo Geniculado Lateral
 CVP Córtex Visual Primario



B.

**Fig. 5.8.- A. Mediciones de la vía visual en el plano transversal reconstruido en 3-D.
 B. Dibujo axial simplificado con la trayectoria de las radiaciones ópticas.**

Medidas obtenidas mediante la reconstrucción del plano transversal.

La tercera medida para la estimación de la longitud de la vía visual se obtuvo a partir del plano reconstruido de imagen por RM desde los 25 cortes trasversales efectuados para tal propósito (**figuras 5.7. y 5.8.**).

3.) La distancia No-Ocp: Es la medida compuesta de la segmentación de la vía visual desde el nervio óptico hasta el polo occipital siguiendo la cintilla óptica. Es una medida compuesta de las 5 líneas o trazos que seguían la trayectoria desde el globo ocular hasta el Córtex Visual Primario (CVP). Esta medida está compuesta por el sumatorio de las distancias: N-op+ QUI-NGL+ Temp 1+ Temp 2 + Temp 3, las cuales pasamos a describir detalladamente:

Medidas segmentadas para el cálculo de la distancia compuesta de la longitud de la vía visual.

3.1.) N-Op: Distancia entre el polo posterior del nervio óptico (NO) hasta el punto medio del quiasma homolateral. Hemos de hacer la consideración que la distancia medida sería igual desde ambos nervios ópticos de cada ojo, que se cruzan anatómicamente en el punto medio del quiasma óptico (homolateral y contralateral).

3.2.) QUI_NGL: Distancia que mide desde el punto medio del quiasma óptico hasta el ganglión geniculado o NGL. Siguiendo de esto modo el trayecto de la vía óptica.

3.3.)Temp 1: Distancia desde el punto medio del núcleo geniculado hasta la región medial del polo anterior del lóbulo temporal.

3.4.) Temp 2: Distancia entre la región medial del polo anterior del lóbulo temporal hasta el tercio medio del lóbulo temporal adyacente al atrio ventricular homolateral.

3.5.)Temp 3: Distancia entre la región del tercio medio del lóbulo temporal hasta el lóbulo occipital en el córtex visual primario (CVP) por debajo de la cisura calcarina.

Las medidas de longitud están realizadas por el sistema automático del programa de gestión de imagen (EASYVISION). Una vez realizados los trazos lineales por el técnico radiólogo, el programa procede a calcular el valor de las distancias en mm con una exactitud de 1 decimal. De este modo, se procedió al cálculo de las distancias para cada sujeto en RM mediante un algoritmo automático. Pudiéndose obtener tres medidas diferentes de longitud o distancia (**d**) sobre los planos sagital-medial y transversal reconstruido:

- d.1) Dia-Ext:** medida del diámetro externo (plano sagital-medial). Esta medida incluye la capa de la piel que recubre el cráneo, así como otras estructuras de la superficie craneal.
- d. 2) Dia-Int:** medida del diámetro interno (plano sagital-medial). Esta medida solo incluía tejido cerebral.
- d. 3) No-Ocp:** medida completa desde el NO hasta los lóbulos occipitales. Esta medida esta compuesta por el sumatorio de los 5 trazos que segmentaban la vía visual.

A partir de la estimación de estas tres medidas de longitud, efectuadas sobre los planos sagitales y transversales del cerebro, se obtuvieron los tres valores respectivos para el parámetro distancia. Posteriormente, todas la imágenes por RM fueron escaneadas con una resolución de 300 dpi y almacenadas en un disco óptico.

5. 2. 3. Determinación del índice de la velocidad de conducción nerviosa (VCN) neurovisual (subcortical).

Para la determinación del índice de la VCN procederemos a aplicar la medida desarrollada por Reed y Jensen (1992) que consiste en el cálculo de un cociente de velocidad (v) basado en los parámetros: tiempo y distancia (**ver apartado 5.2.1. y 5.2.2. de Método**). Para determinar el parámetro (t) se tomaron medidas las latencias medias del componente P100 elicítadas mediante el test del patrón reverso de los VEP sensoriales. Para determinar el parámetro distancia (d) tomamos medidas de la longitud craneoencefálica por RM.

La medida de la VCN subcortical vendrá expresada por la distancia del recorrido de la vía visual o longitud de la cabeza y la latencia que tarda en realizar dicho recorrido, como una *ratio* de respuesta de latencia. Para calcular el índice VCN, procedimos a aplicar la fórmula del cociente de velocidad (distancia/tiempo). Para el numerador (distancia) fue utilizado el parámetro longitud de la vía visual (d), y para el denominador (tiempo de transmisión neural) fue utilizado el parámetro de la latencia P100 (el primer potencial eléctrico de los VEP).

El cálculo de índice VCN se realizó según la siguiente fórmula:

$$\text{VCN} = d/t$$
$$\text{VCN} = d/\text{Lat. P100}$$

VCN = índice para la velocidad de conducción nerviosa neurovisual en m/s.

d = distancia (longitud de la vía visual) en mm.

t = tiempo (latencias del componente P100) en ms.

Procedimos a dividir cada uno de los valores de las distancias (Dia- Ext., Dia-Int. y No-ocp) generadas por la medida de la longitud de la vía visual (d) por la latencia P100 (t). De este modo, para cada sujeto de la muestra experimental obtuvimos tres valores para cada uno de los índices de la VCN neurovisual (VCN1, VCN2 y VCN3) derivados de las tres medidas de distancia respectivamente.

- a) VCN 1: eje antero-posterior externo (Dia- Ext) / latencia P100
- b) VCN 2: eje antero-posterior interno (Dia-Int) / latencia P100
- c) VCN 3: medida compuesta interna (No-Ocp) / latencia P100

A partir del cálculo de este indicador nos proponemos los siguientes objetivos:

A./ Hallar un índice o cociente de velocidad de conducción nerviosa neurovisual (subcortical) a partir de la estimación del parámetro tiempo de transmisión neural (latencia P100) y del parámetro distancia o longitud de la vía visual por RM.

B./ Comparar nuestros valores en el índice de la VCN subcortical que obtendremos con los datos del estudio de otros autores.

C./ Informar sobre posibles diferencias de sexo en el índice de la VCN neurovisual.

D./ Explorar el posible grado de interrelación y dependencia entre los parámetros del índice de la VCN (los VEP y las medidas de longitud por RM) y el índice VCN mismo, en mujeres y hombres.

E./ Explorar, mediante un análisis de covariación, la posible relación entre los parámetros del índice de la VCN, el índice de la VCN y las diferentes medidas de inteligencia psicométrica.

F./ Valorar si el índice VCN neurovisual es un indicador válido de inteligencia biológica o/y un índice de eficiencia neural desde el análisis de la hipótesis del tiempo (velocidad) de la transmisión neural.

5.2.4. Evaluación de la inteligencia psicométrica a través del test del Wechsler y el test de las AMP.

Los instrumentos psicométricos que utilizaremos son los tests cognitivos de Wechsler y las Matrices Avanzadas Progresivas (AMP) de Raven. La doble aplicación en este estudio obedece a varias razones, una de ellas es que ambos tests son diferentes entre ellos.

Señala Mackintosh (1998) que el test de las AMP fue expresamente diseñado para medir la capacidad de razonamiento abstracto analógico (el proceso cognitivo subyacente a la inteligencia general) y se considera que las AMP son una medida directa de ésta capacidad. La cual, teóricamente, se considera que es medida de manera indirecta por el test de Wechsler, puesto que todas las partes de los subtests correlacionan positivamente en el CI total. La única razón de ello es porque todos los subtests miden, en más o menos extensión, uno y el mismo factor general (g) como una única dimensión teórica concebida como la representación de la capacidad de razonamiento abstracto que actúa globalmente en el rendimiento de los tests de CI.

En los estudios de comparación de ambos, las correlaciones observadas entre las puntuaciones del CI de la escala total WAIS y el CI del Raven en la población general van del rango de 0.40 a 0.75 (Court y Raven, 1995).

Otra de las razones es que en el momento de realizar la presente investigación, utilizamos la versión anterior (WAIS) a la actual WAIS-III. Ésta tiene incorporado el test de matrices de razonamiento, cuyo origen es el test del Raven mismo. Según Kaufman (2001), la inclusión de dicho test obedece a razones teóricas para lograr una mayor comprensión de las capacidades subyacentes medidas por el CIM, tales como la inteligencia fluida (Gf).

De manera que, al no disponer de dicho test en la versión que utilizamos del WAIS, en su lugar utilizaremos el test de las AMP en el análisis como una variable o test más en la composición de la puntuación promedio del CI total del WAIS con el propósito de corregir el supuesto sesgo cristalizado que presentaría. A la vez que nos servirá para ayudar a identificar el factor de inteligencia fluida (Gf), que supuestamente es medido por la escala manipulativa (CIM). Y finalmente, también será utilizado para la identificación del factor de organización de la percepción del WAIS.

Otra de las justificaciones es que constituyen dos de los tests más utilizados en

investigación biopsicométrica. En la revisión de la literatura del índice de la VCN se observan resultados contradictorios dependiendo del test aplicado para la medida de la inteligencia psicométrica (CI). Así, Vernon y Mori (1992) hallaron correlación entre la VCNP y las puntuaciones de CI obtenidas mediante el MAB. Ésta es una batería muy parecida al WAIS, ambas correlacionan 0.91 (Jackson, 1984). Mientras que mediante la aplicación del test de las AMP (*i.e.*, Reed Y Jensen, 1991; Barret *et al.*, 1990) no hallaron correlación con la VCN periférica (VCNP). Paradójicamente, Rijdsdijk y Boomsma (1995) proponen que la ausencia de correlación quizás se produzca por la utilización de las AMP de Raven.

5.2.4.1. Determinación de los Cocientes Intelectuales (CI) de inteligencia psicométrica mediante la Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos (WAIS) y las AMP de Raven.

A.-El test de WAIS. Procedimos a la aplicación de *La Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos* (Wechsler, 1993), ya que es utilizado como test criterio de inteligencia psicométrica y está considerado como el mejor instrumento estandarizado para la valoración de todo el amplio rango de las capacidades cognitivas específicas en la computación de un factor general. Ya que, teóricamente, se considera que el CI de la escala Total ofrece una buena estimación del factor *g*.

Sin embargo, en la literatura psicométrica se ha venido constatando que la escala del Wechsler no mide adecuadamente el amplio rango de capacidades de la teoría contemporánea de la inteligencia (Flanagan *et al.*, 2000). Además de concluir que el **CI global o total del WAIS** (la puntuación de CI promedio compuesta por todos los subtests que forman la escala total) no es una medida válida de inteligencia general (*g*) (*i.e.*, Robinson, 1999; Colom, Abad *et al.*, 2002), sino que correspondería a una definición de la *inteligencia en general* (Colom, Abad *et al.*, 2002). La inteligencia general (*g*) viene definida por la variancia común de todos los subtests de la batería del WAIS.

Así, con el objetivo de obtener la variación común de los 11 subtests, nos proponemos extraer **el factor g** latente de la batería del WAIS. Y además de obtener el CI total del WAIS, también incluiremos una puntuación de CI total compuesta del promedio de 12 subtests (11 del WAIS+ AMP).

Para obtener una medida de CI estimativa del CI total del WAIS pasamos a obtener una puntuación de CI compuesta desde un número reducido de subtests. Para seleccionarlos, nos hemos basado en la revisión de las versiones de las formas cortas de WAIS de Crawford, Allan y Jack (1992). Los criterios que nos marcamos para considerar al CI prorrateado como predictor del CI total fueron: 1) que los subtests presenten una saturación elevada de factor g , y 2) que el CI prorrateado correlacionara con el CI Total, el CI Manipulativo, y con las AMP.

Así, emplearemos una **forma corta para estimar el CI total prorrateando** desde 3 de los 11 subtests del WAIS. Éstos son: semejanzas, vocabulario y cubos de Kohs, ya que están entre los mejores tests predictivos para la estimación del CI total. Dos de los subtests elegidos son descritos como verbales: **1)** semejanzas es un test que implica demandas de abstracción y ha sido considerado un test mixto de g fluido y de g cristalizado; y **2)** vocabulario es uno de los mejores tests para la medida de la inteligencia premórbida (Lezak, 1983, citado por Crawford *et al.*, 1992) y se correlaciona altamente con medidas de inteligencia no verbales. Finalmente, **3)** el test no verbal de Cubos de Kohs (Kohs, 1923), también llamado de diseño de bloques, mide razonamiento abstracto y visualización (Gf/Gv), y se ha ido introduciendo en la mayor parte de las baterías de inteligencia (CI) (*i.e.*, Wechsler, Alexander).

En el momento de realizar la presente investigación aún no se disponía en nuestro país de la versión actual del WAIS-III (1998). Por lo tanto, utilizamos la versión del WAIS de la que pasaremos a describir brevemente forma, estructura y contenido. Según Flanagan *et al.* (2000), ninguno de los instrumentos (*i.e.*, WAIS-R,

Tabla 5.5.-Cargas factoriales estimadas del factor g .

Subtests WAIS	g
Información	0.79
Comprensión	0.77
Aritmética	0.75
Semejanzas	0.79
Dígitos	0.57
Vocabulario	0.83
Clave de Números	0.59
Figuras Incompletas	0.64
Cubos Kohs	0.72
Historietas	0.66
Rompecabezas	0.62

Notas de la tabla 5.5.

1: Las estimaciones de las cargas de g para cada subtests del WAIS provienen de la adaptación del WAIS-III del análisis no rotado de componentes principales de Sattler y Ryan (1998). Tomadas del Manual del WAIS-III (1998).

2: Las cargas de 0.70 o superiores se consideran buenas medidas de g , las cargas entre 0.50-0.69 se estiman aceptables, y las inferiores a 0.50 se consideran pobres medidas de g .

WAIS-III) representa una significativa desviación en relación a sus anteriores, sustancialmente en términos de organización, estructura y contenidos.

El manual técnico del WAIS-III (1997) de la adaptación española reporta datos de numerosos estudios de análisis factorial (exploratorio y confirmatorio) que dan soporte a una estructura subyacente de cuatro factores. En cuanto al **contenido** de la escala consiste en la combinación de 11/14 subtests del conjunto de capacidades cognitivas específicas organizados en cuatro factores y divididos *convencionalmente* en un formato de dos escalas, la escala verbal, y la escala no verbal o manipulativa; el conjunto de todos los subtests integra la escala total.

En la **tabla 5.6.**, incluimos la descripción de los 11 subtests del WAIS. En la reciente adaptación del WAIS III, además de los 11 subtests, se incluyen 3 subtests nuevos. Así, se han incorporado: el test de la memoria de trabajo (secuencias de números-letras); el test de velocidad cognitiva del procesamiento (códigos o búsqueda de símbolos); y las matrices de razonamiento, que se trata de una tarea no verbal de resolución de analogías complejas diseñada para la medida de la inteligencia fluida (Gf).

En la **tabla 5.5.**, se exponen las cargas factoriales de g en cada subtests de las escalas de Wechsler. Según Colom, Abad *et al.* (2002), el porcentaje total de la varianza de todos los subtests explicada por g es de aproximadamente el 30%. El porcentaje del total de la varianza explicado por g para cada uno de los factores del WAIS, en un análisis jerárquico, es del 6 % para el factor verbal, del 6% para el factor no verbal, y del 4 % para el factor de memoria. El resto de la variación, un 40 % del total de la varianza, es específica para cada subtests y cerca del 10% es medida de error.

De igual modo, la escala de inteligencia psicométrica del WAIS nos interesa por su **estructuración** ya que está organizada en cuatro factores de inteligencia. Con la finalidad de hallar los cocientes intelectuales (CI) para los factores de inteligencia del WAIS, procedimos a agrupar los subtests de la anterior versión del WAIS, en los 4 factores del actual WAIS-III de una manera similar. Éstos están agrupados bajo la escala verbal en los factores de Comprensión Verbal y Memoria de Trabajo; y bajo la escala no verbal, en los factores de Organización de la Percepción y Velocidad del Procesamiento.

Así, procedimos a agrupar 8 subtests de los 11 subtest de la versión del WAIS en 4 factores siguiendo la agrupación actual en 4 factores del WAIS III formados por

los subtests que cargan en cada factor. Tal agrupación nos permitirá obtener las medidas de cociente intelectual (CI) para cada uno de los factores siguientes: El factor de Comprensión Verbal (CV) es la puntuación de CI promediada de los subtests de vocabulario, semejanzas e información; el factor de Memoria de Trabajo (MT) es la media de aritmética y dígitos; el factor de Organización de la Percepción (OP) es el CI promediado de cubos de Kohs y figuras incompletas, además del CI AMP, en sustitución del test de razonamiento matricial del WAIS-III; finalmente, el cuarto factor es el de Velocidad de Procesamiento de la información (VPI) medido por el CI de clave numérica.

El test del WAIS también nos permitirá obtener las variables latentes o los factores de grupo subyacentes a los constructos de la **Gf, Gc y Gsar** de la teoría de Cattell-Horn, ya que éstas dimensiones están en correspondencia según Kaufman (2001) con los factores del WAIS de Comprensión Verbal = Gc; Organización de la Percepción = Gf/Gv; y el factor Memoria de Trabajo = Gsar. También se considera que la Gf viene representada por la puntuación del CI de la escala manipulativa (CIM) mientras que la Gc estaría representada por el CI de la escala verbal del WAIS (CIV).

Para la agrupación de los subtests del WAIS que mejor medirían las dimensiones de la inteligencia de Cattell-Horn, seguiremos los trabajos de Kaufman (2001), Flanagan *et al.* (2000) y de Robinson (1998). Así, para obtener una medida de inteligencia cristalizada (Gc) utilizaremos los subtests de información + Semejanzas + vocabulario + comprensión, cuya procedencia es Stanford-Binet. La solución para obtener una medida compuesta de inteligencia fluida (Gf) es mediante el promedio de los subtests de cubos de Kohs + figuras incompletas + AMP. Finalmente, para el factor de memoria a corto término (Gsar) utilizaremos aritmética+dígitos, ambos proceden de la escalas de Stanford-Binet también.

Para la evaluación, clasificación e interpretación de las puntuaciones de los tests de inteligencia del WAIS nos hemos basado en el trabajo de Flanagan *et al.* (2000) realizado dentro del marco conceptual de la teoría de Cattell. Las descripciones de los subtests, incluidas en la **tabla 5.6.**, están adaptadas del Manual Técnico de la Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos (WAIS y WAIS-III) (1993, 1998). La **tabla 5.6.**, también incluye la clasificación de los subtests en el marco del modelo de la Gf-Gc de Cattell, la clasificación del contenido de los subtests individualmente y el formato para el nivel reducido de las aptitudes (Estrato I) y la clasificación de los constructos subyacentes al nivel amplio de las capacidades del estrato (II) (Adaptada y modificada de Flanagan, McGrew y Ortiz, 2000). Para su elaboración también nos

hemos basado en Juan- Espinosa (1997).

La interpretación de las baterías de inteligencia se centra fundamentalmente en las cuestiones acerca de qué capacidades o aptitudes subyacen a la ejecución de las escalas, y si estas capacidades son medidas adecuadamente. La interpretación de la composición de las medidas que forman cada factor de inteligencia esta derivada desde las relativamente puras medidas de los constructos subyacentes. La intercorrelación entre varios subtests del WAIS puede atribuirse, en parte, al criterio adoptado para la inclusión de los ítems en el test.

Ha de considerarse que los subtests están compuestos de mixturas de aptitudes diferentes subyacentes a los constructos que miden. Así, para representar mejor al constructo subyacente de la capacidad amplia, los autores Flanagan *et al.* señalan que en el test individual deben de estar contenidos dos o más indicadores cualitativos diferentes. Por ejemplo, según éstos autores, son necesarias medidas de dos aptitudes o más del estrato I subsumidas a la capacidad amplia que representan, ya que puede ocurrir que los constructos subyacentes estén subrepresentados si los componentes o las aptitudes del estrato (I) del test individual de la escala del WAIS no mide todos los aspectos de la capacidad amplia del estrato II.

Tabla 5.6.- Descripción de los subtests del WAIS en el marco de la Gf-Gc.

Subtests Verbales WAIS	(1) Amplia (Estrato II) (código) (2) Reducida (Estrato I) (código) (3) Descripción del Test
Información	(1) INTELIGENCIA CRISTALIZADA (Gc). (Gc): Capacidad de adquirir los aprendizajes de una cultura y la aplicación efectiva de estos aprendizajes. Esta inteligencia implica conocimientos básicos (fundamentos de información general). Ello implica tanto el conocimiento de la propia cultura como las aptitudes para el lenguaje verbal, razonamiento cuantitativo etc. basados en los conocimientos adquiridos en la escuela y en las experiencias a lo largo del tiempo. (2) Test de información general sobre objetos (KO) Rango de conocimientos generales. (3) El examen requiere responder a una serie de preguntas verbales que presentan cuestiones que miden conocimientos acerca de eventos comunes, objetos, etc.
Comprensión	(1) INTELIGENCIA CRISTALIZADA (Gc). (Gc) (2) Desarrollo del lenguaje (LD): Desarrollo general del lenguaje de la comprensión de las palabras, sentencias y párrafos (no requiriendo lectura). Y KO. (3) El examen requiere responder verbalmente a una serie de preguntas expuestas verbalmente y deben responderse verbalmente también que focalizan sobre problemas cotidianos o en la comprensión de roles sociales.
Aritmética	(1) INTELIGENCIA CRISTALIZADA (Gc), Razonamiento cuantitativo (Gq). Razonamiento cuantitativo (Gq): Aptitud para el razonamiento numérico basado en relaciones y formas matemáticas. Representaciones simbólicas de operaciones mentales a partir de símbolos cifrados. (2) Conocimientos matemáticos (MA). Este test mide una aptitud del estrato I subsumida a Gq. (3) El examen requiere resolver una serie de problemas aritméticos que se presentan verbalmente y deben responderse verbalmente también. Es un test sensible a la emotividad. Mide concentración y resistencia a la distracción.
Semejanzas	(1) INTELIGENCIA CRISTALIZADA (Gc) (2) Desarrollo del lenguaje (LD). Y Conocimiento Léxico (VL) Extensión de vocabulario (más amplio y elevado) a través de la lectura y otras experiencias. (3) El examen se presenta en pares de palabras verbales y se requiere que se explique que tienen de común los objetos o conceptos que se representan.
Dígitos	(1) Memoria a corto plazo (Gsm). (Gsm): Es la capacidad de aprehender y consignar información en la memoria de inmediato. (2) Memoria de dígitos-MS (3) El examen requiere repetir verbalmente en el mismo orden presentado o en orden inverso una serie de secuencias de números presentados verbalmente.
Vocabulario	(1) INTELIGENCIA CRISTALIZADA (Gc). (Gc): Capacidad de adquirir los aprendizajes de una cultura y la aplicación efectiva de estos aprendizajes. (2) Desarrollo del lenguaje (LD): Desarrollo general del lenguaje de la comprensión de las palabras, sentencias y párrafos (no requiriendo lectura). Aprendizaje léxico. (VL): Extensión del vocabulario que puede ser comprendido en términos del significado correcto de las palabras. (3) El examen requiere definir verbalmente una serie de palabras presentadas verbalmente también.

Tabla 5.6.- Continuación.

Subtests	(1) Estrato II (código)
No Verbales	(2) Estrato I (código)
WAIS	(3) Descripción del Test
Clave de Núm.	(1) Velocidad de Procesamiento (Gs).
	(Gs) Es la capacidad general de velocidad cognitiva. Se refiere a que esta capacidad influye o acompaña al rendimiento cognitivo en tareas que deben resolverse especialmente bajo presión de tiempo y que requieren mantener la atención y la concentración
	(2) Ratio de ejecución de test (R 9): Aptitud para ejecutar con rapidez test que son relativamente fáciles o que requieren tomar decisiones simples.
	(3) El examen requiere dibujar símbolos que están emparejados con una serie de números de acuerdo a una clave. Se le pide al sujeto que los ejecute los más rápidamente posible.
Figuras Incom.	(1) INTELIGENCIA CRISTALIZADA (Gc), Procesamiento Visual (Gv).
	Gv: Es la capacidad de generar, percibir, analizar, sintetizar, manipular y transformar formas espaciales.
	(2) Flexibilidad de Clausura (CF): es la rapidez para encontrar, captar e identificar un patrón visual sabiéndolo cuando se oculta. Información General (KO)
	(3) El examen requiere identificar una parte importante desaparecida de un conjunto de objetos o escenas comunes.
Cubos de Kohs	(1) INTELIGENCIA FLUIDA (Gf), Procesamiento Visual (Gv).
	Gf: Es la capacidad de resolver problemas relativamente nuevos. Este tipo de inteligencia incluye la formación de conceptos, identificación de relaciones y percepción de relaciones entre patrones, dibujar inferencias, comprender implicaciones, extrapolación y reorganización de la información.
	Gv: Es la capacidad de generar, percibir, analizar sintetizar, manipular y transformar formas espaciales.
	(2) Relaciones espaciales (SR): capacidad de percibir rápidamente y de manipular patrones visuales y de mantener la orientación con respecto a los objetos en el espacio.
	Visualización (Vz): capacidad de manipular mentalmente objetos o diseños visuales. El test implica la capacidad conceptual de análisis y síntesis, representación mental, abstracción y representación simbólica. Utiliza para su ejecución varios modos de organización perceptiva estructuración espacial y lateralización.
	Sensible a la emotividad por el cronometraje.
	(3) El examen requiere la replicación de un conjunto de modelos geométricos utilizando cubos bidimensionales en dos colores. Es un test de tiempo controlado.
Historietas	(1) Procesamiento Visual (Gv), INTELIGENCIA CRISTALIZADA (Gc).
	Gv: Es la capacidad de generar, percibir, analizar, sintetizar, manipular y transformar formas espaciales.
	(2) Visualización (VZ) y KO.
	(3) El examen requiere ordenar un conjunto de fotografías presentadas de manera desordenada en una secuencia de una historia lógica.
Rompecabezas	(1) Procesamiento visual (Gv).
	Gv: Es la capacidad de generar, percibir, analizar, sintetizar, manipular y transformar formas espaciales.
	(2) Velocidad de Clausura (CS) es la rapidez para unificar en un único percepto un campo perceptual aparentemente dispar.
	Relaciones espaciales (SR) es la capacidad para manipular (rotando mentalmente) patrones visuales relativamente simples.
	(3) El examen requiere juntar o componer un conjunto de puzzles de objetos comunes en un entero significado. Es un test de tiempo controlado.

B.-Matrices Progresivas Avanzadas de Raven (AMP).

Para la medida psicométrica directa de la capacidad de razonamiento se optó por la utilización de la Matrices Progresivas Avanzadas de Raven (AMP)(Raven, 1938) ya que se considera que ofrecen una medida de la inteligencia fluida (Gf) al evaluar la capacidad cognitiva general mediante tareas de razonamiento abstracto analógico. Los análisis factoriales han demostrado que el test AMP también satura altamente en el factor de relaciones figurativas (Gv), un factor de capacidad espacial (Colom *et al.*, 2001).

El manual de Raven (1996) señala que el test de las AMP fue desarrollado inicialmente para ser utilizado en la investigación de los orígenes genéticos y ambientales de la conducta inteligente. Por estas razones, en la construcción del test AMP, se procuró que sus puntuaciones no dependieran del nivel educativo ni de la experiencia o los aprendizajes.

La construcción de las escalas de las AMP, por John Raven y el genetista Lionel Penrose, se fundamentó en los criterios de Spearman en los que establece que se deben incorporar la leyes no genéticas (*educación de relaciones y educación de correlatos*) en la elaboración de los test mentales para poder medir directamente al factor *g* o a la inteligencia general, cuyo principal ingrediente es la capacidad de establecer relaciones entre objetos o ideas y realizar inferencias. Así, derivado de este marco conceptual, fue desarrollado un test no verbal de razonamiento inductivo y deductivo, como las AMP.

El tipo de razonamiento inductivo implica que la conclusión extraída va más allá de la información dada (a partir de la observación de casos particulares se trata de obtener un ley de carácter general). Un ejemplo de este tipo de razonamiento son las analogías. En los problemas de razonamiento analógico (una forma de razonamiento inductivo) es donde, en principio, hay solo una respuesta correcta de entre varias alternativas de elección para una analogía (Mackintosh, 1998). El razonamiento deductivo implica que la conclusión de un problema se extrae de las premisas, no aporta conocimientos nuevos, simplemente va de lo general a lo particular. Un ejemplo de test de pensamiento deductivo son los silogismos.

El test de las AMP consta de un número de ítems, que utilizan un material abstracto y diagramático presentado dentro de una matriz 3x3, que van incrementando progresivamente el grado de dificultad. La prueba consiste en la

presentación de diseños de figuras geométricas incompletos. La tarea del sujeto es seleccionar, entre cinco u ocho opciones de segmentos de figuras, cual es la opción correcta para completar el diseño. El sujeto debe completar analogías y descubrir para cada problema una ley, en una serie, a través de la composición y la disposición de los distintos dibujos.

5.2.4.2. Aplicación de las medidas de inteligencia psicométrica:

Antes de ejecutar las pruebas para la medida de la inteligencia psicométrica, los sujetos se sometían a un cuestionario con el objetivo de controlar variables que podían influenciar y/o afectar a su rendimiento cognitivo (**ver tabla 5.3.**). Todos los sujetos realizaron las pruebas (A y B) para la medida de la inteligencia psicométrica en el laboratori de Neurociències Cognitives de l'Àrea de Recerca de la Facultat de Psicologia (UB).

A. WAIS: Para la aplicación de esta prueba a los sujetos, seguimos las instrucciones y normas estandarizadas para la administración de los tests. La pasación del test se realizó de manera individualizada a cada uno de los 20 sujetos que formaba la muestra.

En la secuencia de administración de la prueba del WAIS se aplicaron primero todos los subtests verbales para administrar después los manipulativos, con el objetivo de no alterar la cualidades métricas del test y las puntuaciones. Se utilizó una hoja de respuestas para el registro.

Para la corrección se siguieron los criterios específicos de valoración y puntuación de cada prueba o subtests. Tanto la administración de la prueba como su evaluación fueron realizadas por la misma examinadora-evaluadora. El tiempo de pasación de la prueba osciló entre los 90-120 minutos.

B. AMP: La aplicación del test se hizo de acuerdo a las normas específicas del Manual del Raven (1996). A los sujetos se les daba las instrucciones estándar para la pasación de la prueba individual de las AMP (*Advanced Progressive Matrices*) o Escala Superior. El material necesario para el sujeto comprende la hoja de respuestas a esta escala. El test se presentó en formato lápiz y papel en dos cuadernillos: Serie I (*Set I*) con 12 elementos y Serie II (*Set II*) con 36 elementos. La duración de la prueba se cronometró en 45 minutos.

Después de realizar la corrección las puntuaciones directas, éstas fueron convertidas a puntuaciones de CI. Lo cual se llevó a cabo siguiendo las normas de corrección, puntuación e interpretación (baremos) para la Escala superior (AMP) del Manual del Raven en concordancia con la edad y el nivel académico de los sujetos. Antes de ejecutar la prueba, los sujetos se sometían a un cuestionario con el objetivo de controlar variables que podían influenciar y/o afectar a su rendimiento cognitivo.

Con la pasación del WAIS y las AMP nos proponemos:

A./ Obtener una medida individual de cociente intelectual (CI) para las escalas del WAIS: Total (CIT), Verbal (CIV) y manipulativa (CIM). Así, como una medida de CI para cada uno de los subtests que conforman la escala del WAIS, y para cada uno de los factores del WAIS (Verbal, Memoria de Trabajo, Organización de la Percepción y Velocidad del PI), y una medida de CI para cada uno de los factores Gf, Gc y Gsar de Cattell. Y una medida de la puntuación de CI por las AMP.

B./ Extraer el factor *g* de la batería del WAIS.

5.3. Análisis de datos.

En general, todo el proceso de análisis de datos y presentación de resultados en tablas (cap. 5, Resultados) lo hemos realizado en tres bloques: el primero de ellos es el referido al análisis de los descriptivos estándar, en el que se presentan las tablas con los datos relativos a valores medios, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos etc. para cada una de las variables de estudio; en el segundo presentamos los datos del análisis de variancia y comparación de medias con la finalidad de explicar *per sé* si las diferencias observadas son debidas al efecto de la variable sexo, y otras variables estudiadas; y finalmente, en el tercero hemos realizado el análisis correlacional entre las variables objeto de estudio de la presente tesis.

a) Datos de los parámetros latencia y amplitud de los componentes N100 y P100 de los VEP.

Para analizar las ondas de los ERP visuales (VEP) de cada sujeto, se identificaron visualmente los tres componentes que corresponden al registro de las posiciones Cz-Oz. Estos componentes VEP son designados por el complejo de onda (N1, P1 y N2), de acuerdo a su polaridad y latencia: **N1** (primer componente negativo con latencia pico negativa entre 50 y 100 ms); **P1** (primer componente positivo con latencia pico positiva entre 75 y 145 ms; **N2** (segundo componente negativo con latencia pico negativa entre 150 y 200 ms).

Así, los componentes VEP fueron cuantificados por el computador en términos de medidas de picos para la latencia y la amplitud media sobre un intervalo de tiempo específico (la máxima deflexión positiva o negativa dentro de una ventana específica de tiempo en el que queda delimitado el componente). Todos ellos referidos a una línea base del promedio del voltaje situada sobre los 100 ms. Procedimos a anotar las latencias, amplitudes y las áreas de la ondas N1-P1 (N100-P100) medias de los promediados correspondientes a dichos componentes para cada sujeto que fueron medidas por el cursor del computador.

Centraremos nuestro análisis de los datos principalmente en la latencia del componente P100 que será utilizada para obtener el parámetro tiempo (t) de conducción nerviosa. La amplitud del componente venía determinada por su diferencia con el punto de inicio del registro del potencial evocado. Las amplitudes fueron medidas como la distancia entre el pico de la primera gran deflexión negativa

(N1) y el pico de la primera gran deflexión positiva (P1); se consideró la diferencias de los valores de las amplitudes N1-P1 (la amplitud relativa de respuestas durante el período que duraba la estimulación) medidas con respecto a la línea base.

b) Datos psicométricos de CI.

En el proceso para la obtención de los CI de las escalas del WAIS se procedió a la conversión de las puntuaciones directas de cada subtests en puntuaciones típicas y de éstas a la conversión a cociente intelectual (CI) obtenido para cada sujeto y basado en su grupo de referencia por la edad, según las tablas correspondientes (media=100 y sd=15) del manual.

Los datos de los estadísticos de medias y desviaciones estándar del CI total de la escala del WAIS y de los subtests hallados para nuestra muestra (N=20) se utilizaron de referencia para el cálculo del CI de cada subtests del WAIS. Éstos se obtuvieron a partir de los datos de puntuaciones típicas obtenidas por cada sujeto en cada subtest aplicado y utilizando los estadísticos de medias y desviaciones típicamente normalizados (media=10 y sd=3) según el manual del WAIS. Estas tipificaciones están normalmente comprendidas en un rango de 0-19 para cada subtests.

Para obtener el cociente intelectual de los factores de inteligencia del WAIS se procedió a realizar un promedio de CI para cada factor, basado en la composición de los subtests aplicados que cargan en cada factor. Así, obtuvimos una medida de CI para cada uno de los cuatro factores del WAIS. El CI para cada uno de los factores Gf-Gc-Gsar de la teoría de Cattell se obtendrá a partir de la composición de la puntuación de CI de los subtests del WAIS que cargan en cada uno de ellos.

Procederemos a obtener una estimación del CI total a partir de la versión de la forma corta del WAIS prorrataada desde 3 subtests. Después, con la finalidad de estudiar la variación común (factor g) de los 11 subtests del WAIS procederemos a aplicar el método de los vectores correlacionados que describimos en este apartado. No hemos utilizado el modelo de la ecuación estructural para la obtención del factor g porque no cumplíamos los supuestos debido al reducido número de sujetos, lo que no nos permitía realizar estimaciones fiables.

En cuanto a la medida psicométrica de las AMP, la conversión de las puntuaciones directas en puntuaciones típicas de CI se realizó de acuerdo con los baremos españoles para el Raven AMP (escala superior) realizados con estudiantes universitarios. Utilizamos los estadísticos estandarizados en una media de 20.94 y

una $sd=6.19$. Posteriormente se obtuvo un CI medio AMP para cada sujeto basado en el grupo de referencia (media=100 y $sd=15$).

5.3.1. Análisis estadísticos.

Se procedió de manera previa, y para todos los datos, a realizar un estudio mediante los estadísticos descriptivos clásicos referentes a: medias, desviaciones estándar, valores mínimo y máximo, rango etc. Los resultados también se representan gráficamente mediante diagramas de tronco y hojas. Previa aplicación del test de Levene, para comprobar el supuesto de homogeneidad de varianzas, se realizó un análisis de variancia con la finalidad de explorar posibles diferencias debidas al efecto de las variables estudiadas mediante el programa ANOVA. También se realizó un análisis de comparación de medias mediante el test t de Student. Posteriormente, para el estudio correlacional procedimos a aplicar la prueba de la correlaciones bivariadas de Pearson. Todos ellos del paquete estadístico SPSS/PC.

A los resultados de la correlaciones aplicaremos inicialmente el test de significación de las correlaciones de Pearson y consideraremos los resultados significativos en un nivel del 5% ($p_c = 0.05$). Debido que disponíamos de una muestra formada por un número reducido de sujetos y con la finalidad de corregir los efectos del error de muestreo derivado de ello, procedimos a corregir el nivel de significación estadístico de los resultados mediante la aplicación del contraste estadístico de Bonferroni. Dicho contraste consiste en la reducción de la tasa nominal de error del coeficiente alpha obtenido de las correlaciones de Pearson, situando el nivel de significación en una $p_c = 0.005$. Todos los datos fueron computados con el programa estadístico SPSS/PC.

5.3.1.1. Análisis por el método de los vectores correlacionados.

El método de los vectores correlacionados (Jensen, 1998) fue desarrollado con el objetivo de estudiar la asociación entre el factor g psicométrico y una variable no psicométrica. Esencialmente, dicho método consiste en analizar una amplia batería de diversos (sub) tests (*i.e.*, Wechsler) y obtener la carga factorial de g de cada uno de ellos. El vector de carga factorial obtenido es correlacionado con un vector de correlaciones, entre cada test cognitivo y una medida no psicométrica particular. Así, el vector columna de las cargas de g de los subtests es llamado \mathbf{Vg}^* (Vector g), que

es el representante del factor g en el test analizado. Después, se procede a controlar las diferencias en la fiabilidades de los subtests, y éstos se correlacionan con las variables no psicométricas \mathbf{X} (*i.e.*, variables biológicas). El vector columna generado de esas correlaciones es \mathbf{Vx} . Por ejemplo, si se halla una correlación positiva y significativa entre los vectores de la columna paralela (Vg y Vx), representa que g y la variable no psicométrica X están relacionadas y que las diferencias son atribuibles a g . En resumen, el método de los vectores correlacionados es aplicado para obtener evidencia acerca del grado de la asociación entre el vector g (o el vector de las cargas de g de los tests) y el vector definido por la correlación entre la medida no psicométrica y las puntuaciones de los subtests, en este caso del WAIS.

Véase en Jensen (1998) y en Colom *et al.*(2000) donde se describen las condiciones de aplicación del método de los vectores correlacionados. Los criterios básicos para la extracción de un buen g son que las muestras de estudio deben de ser representativas de sus respectivas poblaciones y lo suficientemente grandes en tamaño. El análisis factorial jerárquico ha de basarse en una gran variedad y número de test que permitan la extracción de un factor g estable y fiable entre el factor g obtenido de la muestra y el de la población.

Procedimiento para la extracción del factor g del WAIS en nuestro estudio:

Vamos a describir el procedimiento para la extracción del factor g . En primer lugar se procedió a realizar un análisis factorial jerárquico de la matriz de correlaciones de la adaptación del WAIS de TEA. El análisis factorial realizado corresponde a la transformación Schmid-Leiman, calculada a partir de los datos de 319 sujetos de edades comprendidas entre 15 y 19 años, para edades similares a las evaluadas en nuestra muestra de estudio. Ya que no es procedente analizar factorialmente una matriz de correlaciones generada con 20 personas (el resultado no sería fiable). Pero esto no es un inconveniente ya que los pesos de g de los subtests del WAIS son altamente congruentes factorialmente para diferentes edades (comunicación personal, Roberto Colom, 2002). La congruencia entre ambos g se comprueba a través de un índice de congruencia.

El resultado del AF nos proporciona los pesos en un g jerárquico de los subtests de la batería del WAIS analizada. Las cargas factoriales de g se relacionaron con la puntuación directa de los subtests aplicados en nuestro WAIS en la generación del vector g . Así pues, desde éste análisis factorial descrito, se produce un vector columna (Vg) que representa el factor general de segundo orden o al factor g

(rotación Promax), que está considerada la mejor representación de g en la batería del WAIS (Jensen y Weng, 1994).

Así, para realizar el cálculo de la correlación entre el índice VCN y el factor g , éste tuvo que estimarse a partir de las puntuaciones del WAIS. Concretamente en nuestro estudio el factor g se obtuvo multiplicando las cargas de la estimación de g de los subtests del WAIS obtenidas de TEA por las puntuaciones directa correspondiente a cada uno de los 11 subtests aplicados en nuestro WAIS.

Una vez se obtiene el vector-columna (Vector g) definido por las cargas jerárquicas de g (o los pesos factoriales de los subtests del Wechsler), se construyeron otros vectores para la correlación VCN x subtests (tantos como medidas de la VCN tenemos). Llegados a este punto, el siguiente paso es calcular los vectores-columna correspondientes a la correlación VCN x subtests. El método de los vectores correlacionados consiste en calcular la correlación parcial entre el vector columna (\mathbf{Vg}) que representa al factor g (del WAIS) y el vector de las correlaciones (\mathbf{Vx}) entre las medidas de VCN y los subtests, controlado por el vector de la fiabilidad de los subtests del CI WAIS utilizado (r_{xx}). La fiabilidad de los tests en este análisis puede jugar un papel sustancial en la determinación de la magnitud de la correlación de vectores. La fiabilidad viene controlada por la parcialización sobre el vector de fiabilidad del test desde los vectores g del WAIS y las cargas de los subtests. La sintaxis del SPSS empleada se incluye en **Apéndice**.

VI. RESULTADOS

6.1. Resultados para las latencias y amplitudes de los componentes P100 y N100 de los VEP.

A continuación vamos a presentar los datos referentes a los valores para las latencias y amplitudes medias de los componentes N100 y P100, en el registro de las posiciones Oz. Los estadísticos descriptivos referidos a medias, desviaciones estándar, valores mínimo y máximo se exponen en la **tabla 6.1**. Los resultados para el total de la muestra (n=20) experimental nos indican que:

- A) Latencia N100:** La latencia promedio es de 71.43 ms con una $sd=2.86$, y los valores mínimo y máximo fueron de 64 y 76 ms respectivamente. En comparación con el estudio de referencia de Reed y Jensen (1992), podemos observar que son valores muy próximos. Así, en su estudio hallaron unos valores medios para la latencia N70 (o N100) de 72.33 ms con una $sd=3.65$, y los valores mín. y máx. fueron de 63.5 y 82 ms respectivamente.
- B) Latencia P100:** La latencia promedio para éste componente es de 97.83 ms con una $sd= 10.19$, y los valores mínimo y máximo son de 87.5 y 121 ms respectivamente. Por los tanto, los datos de nuestro estudio presentan unos valores medios comprendidos dentro del rango de valores normales en la literatura (Chiappa, 1990). También podemos observar que nuestros valores son muy parecidos a los presentados por Reed y Jensen (1992), usando estímulos y presentación de protocolos similares al nuestro, que en su estudio obtienen un valor para la latencia P100 promedio de 100.17 con una $sd=3.61$, en una muestra formada por 147 sujetos hombres (**ver tabla 6.1.**).
- C) Amplitud N1:** Obtenemos un valor medio para ésta amplitud de 8.48 μV con una $sd=6.49$, con unos valores mínimos de 3.41 μV y máximo de 24.8 μV .
- D) Amplitud P1:** Obtenemos un valor medio para ésta amplitud de 5.06 μV con una $sd=3.94$, y unos valores mínimos de 0.39 μV y máximo de 13.86 μV .
- E) Amplitud N1-P1:** Los valores medios de la amplitud relativa entre los componentes N100 y P100 (N1-P1) fue de 13.45 μV ($sd=6.88$). Se presentan unos valores mínimos de 5.32 μV y máximo de 29.1 μV .

Tabla 6.1.- Descriptivos para las latencias (en ms) y para las amplitudes (en microvoltios) de los componentes N100 y P100 de los VEP. Los datos se presentan para la posición del electrodo Oz en una muestra de n=20.

Latencia y Amplitud del VEP (n=20)							
	Latencias (ms)		Reed y Jensen, 1992 (N=147)		Amplitud (mV)		
	N100	P100	N70	P100	N1	P1	N1-P1
Media	71.43	97.83	72.33	100.17	8.48	5.06	13.45
Sd	2.86	10.19	3.65	3.16	6.49	3.94	6.88
Mínimo	64	87.5	63.5	92	3.41	0.39	5.32
Máximo	76	121	82	122.5	24.8	13.86	29.1

Nota tabla 6.1.: Presentamos los valores para la latencia de los componentes N100 y P100 obtenida en la presente tesis comparada con los datos de referencia para la latencia N70 o N100 (un potencial registrado en el rango de los 75 ms) y P100 hallados en el estudio de Reed y Jensen (1992) realizado con una muestra de 147 hombres. Podemos observar valores similares entre ambos estudios, que están comprendidos dentro del rango de valores normativos en la literatura.

En las **tablas 6.2. (latencias)** y **6.3. (amplitudes)** presentamos los resultados promediados para los valores de las latencias y amplitudes de los componentes N1 y P1 de los VEP registrados para el grupo de los hombres (n= 10) y para el grupo de las mujeres (n=10). Y a continuación en la **figuras 6.3. y 6.4.**, tenemos estos valores representados gráficamente para facilitar la comparación entre los dos grupos.

En la **tabla 6.2.**, mujeres y hombres respectivamente, se pueden observar los valores de los VEP para el parámetro de latencia (en milisegundos) o tiempo de transmisión neural de los componentes sensoriales N100 y P100 que fueron elicitados mediante la prueba del patrón reverso de estimulación. Los datos del registro de los VEP en la posición del electrodo Oz (colocado sobre el córtex occipital) nos indican que:

A) Latencia N100: Las mujeres presentaron latencias promedio para éste componente de 71.35 ms (sd=3.46) con unos valores mínimo y máximo de 64 y 76.5 ms respectivamente, comprendidos en un rango de 12.50 ms. Para los hombres se obtiene una latencia media de 71.50 ms (sd=2.30); con unos valores mínimo y máximo de 68 ms y 75.5 ms respectivamente, comprendidos en un rango de 7.50 ms. Podemos ver que la diferencia en la latencia N100 entre ambos grupos es inapreciable. Aunque, sin demasiada diferencia, en el grupo de las mujeres se presenta mayor variabilidad, y también podemos observar que los valores mínimos y máximos alcanzados para la latencia N1 están en el grupo de las mujeres.

B) Latencia P100: Para las mujeres se obtuvo unos valores para las latencias promedio en éste componente de 97.45 (sd= 12.02); con unos valores mínimo y máximo de 87.50 y 121 ms respectivamente que estaban comprendidos en un rango de los 33.5 ms. Para el grupo de los hombres se obtuvo una latencia media de 98.20 ms (sd=8.62); con unos valores mínimo y máximo de 89 y 118 ms respectivamente que estaban comprendidos en un rango de 29 ms. La diferencia entre ambos grupos para los valores de la latencia P100 es mínima, aunque podemos observar que las mujeres presentan una latencia media cifrada en menos de 1 ms en comparación con el grupo los hombres. También se observa que el grupo de las mujeres presenta mayor variabilidad (sd), y se registran tanto los valores mínimos como los máximos de toda la muestra total.

Resumiendo, los valores presentados en nuestro estudio están comprendidos dentro del rango de los valores de la literatura de los estudios normativos por sexos, en los que para la mujeres están comprendidos en 91.07 ± 9 ms para la latencia P1, y en 6.88 ± 2.79 μ V (microvoltios) para la amplitud P100 ; y para los hombres en una latencia P1 de 95.37 ± 6.85 ms, y de 6.4 ± 2.38 μ V para la amplitud P1 (Tandon y Sharma, 1989).

Tabla 6.2. - Latencias medias (ms), desviaciones estándar, puntuaciones mín. y máx. para el registro de los componentes N100 y P100 de los VEP para el grupo de las mujeres y para el grupo de los hombres. Se presentan los datos para la posición del electrodo Oz.

Latencias (mseg.)										
Mujeres (10)						Hombres (10)				
	Media	sd	Mín.	Máx.	Rango	Media	sd	Mín.	Máx.	Rango
N100	71.35	3.46	64.00	76.50	12.50	71.50	2.30	68.00	75.50	7.50
P100	97.45	12.02	87.50	121.00	33.50	98.20	8.62	89.00	118.00	29.00

Nota tabla 6.2: Puede observarse que los valores mínimo y máximo para las latencias, tanto del componente N1 como del P1 a la respuesta transitoria de los VEP, están en el grupo de las mujeres. En éstas también se observa una mayor variabilidad (sd) que en el grupo de los hombres en la latencia P1 y N1.

Puede visualizarse gráficamente en la **figura 6.1.** los valores promedio para las latencias de los componentes P1 y N1 de los VEP para el grupo de las mujeres, los hombres y los totales.

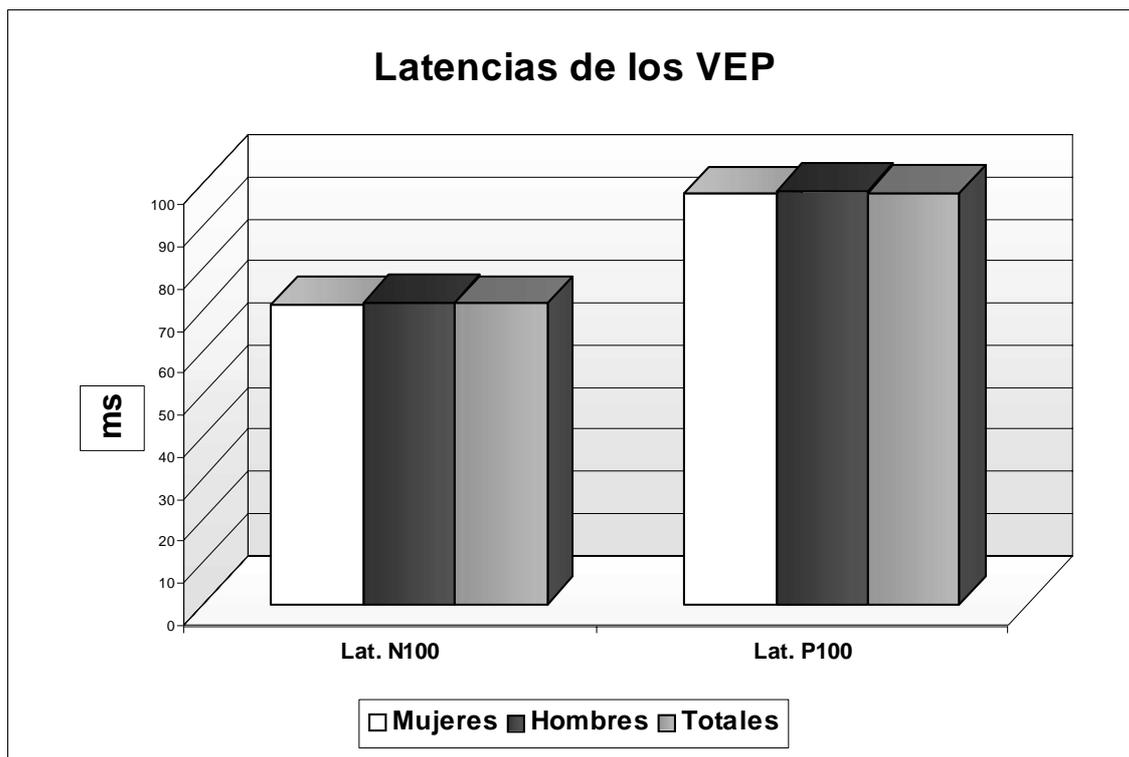


Fig. 6.1.- Valores para las latencias medias de los componentes N100 Y P100 de los VEP para el grupo de mujeres, hombres y totales.

En la **tabla 6.3.**, hombres y mujeres, respectivamente, presentamos los resultados para las amplitudes de los componentes N1 y P1 y para la diferencia de amplitud o amplitud relativa N1-P1. Los datos para la posición del electrodo Oz nos indican que:

- A) Amplitud N1:** Los valores que obtuvimos para la amplitud del componente N1 para el grupo de las mujeres fue de $9.22 \mu\text{V}$ y una desviación estándar de 7.24 , con unos valores mínimo y máximo 3.41 y $24.80 \mu\text{V}$ respectivamente. Y para el grupo de los hombres obtuvimos unos valores en la amplitud media de 7.74 y una $sd= 6.94$, con unos valores mínimo y máximo 3.51 y $22.07 \mu\text{V}$ respectivamente. Observamos que en el grupo de las mujeres se presentan mayores amplitudes N1 que en de los hombres, y también se observa una mayor variabilidad (sd) en las amplitudes N1 que en el grupo de los hombres.
- B) Amplitud P1:** Para el grupo de las mujeres, obtuvimos unos valores en la amplitud media de $5.76\mu\text{V}$ y una $sd= 4.30$, con unos valores mínimo y máximo 0.39 y $13.86 \mu\text{V}$ respectivamente. Y para los hombres una amplitud media de $4.37\mu\text{V}$ y una $sd= 3.64$, con unos valores mínimo y máximo 0.39 y $13.86 \mu\text{V}$ respectivamente.

12.40 μV respectivamente. Aquí también observamos de nuevo amplitudes menores para el grupo de los hombres y mayor variabilidad en las mujeres.

C) Amplitud N1-P1. En cuanto a los valores de la diferencia de amplitud o amplitud relativa entre los componentes (N1-P1) fue de un promedio de 14.88 μV y (sd=7.92), con unos valores mínimo y máximo 5.41 y 29.10 μV respectivamente para las mujeres, comprendidos en un rango de 23.69 μV . Los hombres obtuvieron un valor promedio de 12.03 μV y una sd= 5.72, con unos valores mínimo y máximo 5.32 y 21.67 μV respectivamente, comprendidos en un rango de 16.35 μV . Observámos que el grupo de las mujeres se presentan amplitudes relativas mayores que en el de los hombres, y también una mayor variabilidad.

Tabla 6.3. Descriptivos de las amplitudes medias, desviaciones estándar, valores mín. y máx. y rango de los componentes N1, P1 y diferencia de amplitud N1-P1 para mujeres (n=10) y hombres (n=10).

Amplitud (microvoltios)										
	Mujeres (10)					Hombres (10)				
	Media	sd	Mín.	Máx.	Rango	Media	sd	Mín.	Máx.	Rango
N1	9.22	7.24	3.41	24.80	21.39	7.74	5.94	3.51	22.07	18.56
P1	5.76	4.30	0.39	13.86	13.47	4.37	3.64	0.39	12.40	12.01
N1-P1	14.88	7.92	5.41	29.10	23.69	12.03	5.72	5.32	21.67	16.35

Notas tabla 6.3.:

Nota 1: N1-P1 *Diferencia de amplitud entre N1-P1 o amplitud relativa. La amplitud en microvoltios (μV).

Nota 2: Se puede observar que el grupo de las mujeres presenta amplitudes mayores que los hombres y también una mayor variabilidad.

En la **figura 6.2.** presentamos gráficamente los valores medidos para las amplitudes de los componentes N1, P1 para el grupo de las mujeres, los hombres y totales.

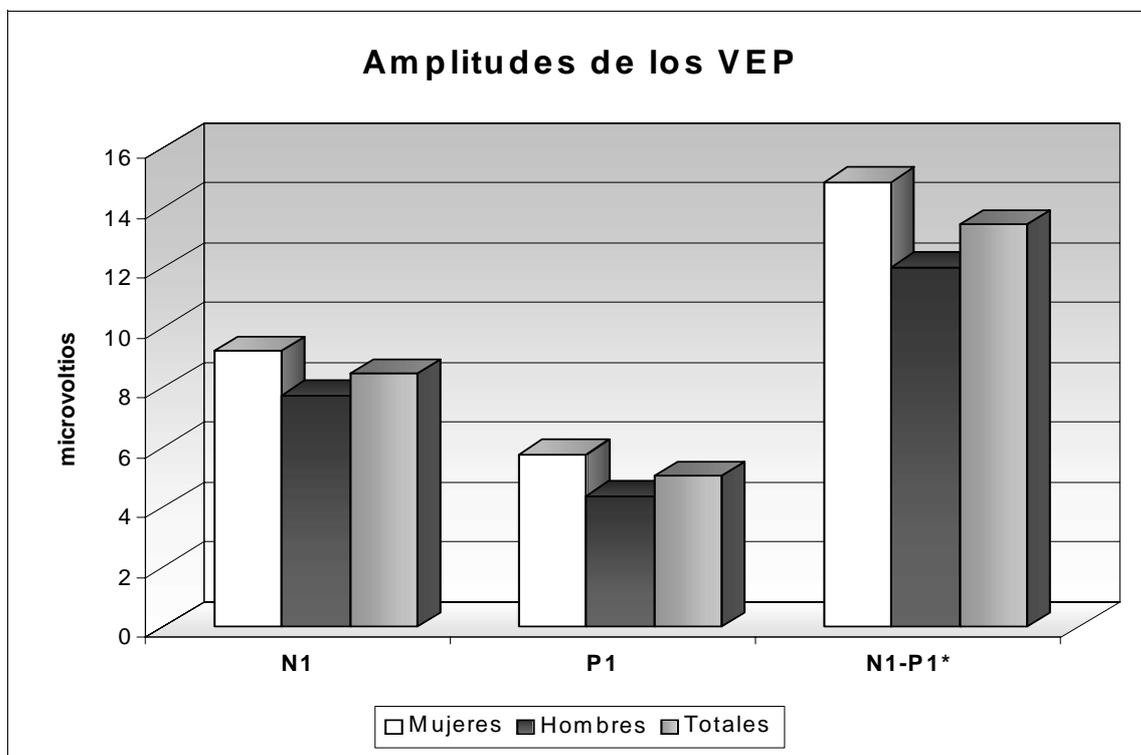


Fig. 6.2.- Valores para las amplitudes medias de los componentes N100 Y P100 de los VEP para el grupo de mujeres, hombres y totales.

A fin de comprobar si había diferencias estadísticamente significativas entre sexos para los componentes elicitados N1 y P1 de los VEP realizamos una comparación entre-grupos (para datos de hombres y mujeres) de los valores medios obtenidos para las latencias y amplitudes de los componentes mediante un análisis de varianza y comparación de medias (ANOVA y test-t).

En primer lugar calculamos **el test de Levene** para comprobar si cumplíamos el supuesto de homogeneidad de varianzas para cada una de la variables dependientes de los VEP. Así, obtuvimos para la latencia del N100 ($F=0.675$, NS, con

una diferencia media de 0.15); latencia P100 un valor ($F=0.916$, NS, con una diferencia media de 0.75); para la amplitud N100 un valor ($F=0.482$; NS, con una diferencia media de -1.484); para la amplitud P100 un valor ($F=0.489$, NS, con una diferencia media de -1.381); para la diferencia de amplitud N1-P1 un valor ($F=1.187$; NS con una diferencia media de -2.846). De manera que se cumplen en todas las variables el supuesto de homogeneidad de varianzas.

También comprobamos que, mediante el test- t, se cumplen en todos los casos los supuestos de igualdad de medias. Así, **los valores de la t-Student** para la latencia N100 fueron de 0.11, no significativa; un valor t de 0.16, no significativo para la P100; un valor t de -0.50, no significativo para la amplitud N1; un valor t de -0.77, no significativo para la amplitud P1; y finalmente un valor t de -0.92, no significativo para la diferencia de amplitud N1-P1. Por lo tanto, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre mujeres y hombres para ninguno de los parámetros referentes a latencias y amplitudes medias de los potenciales evocados visuales.

Además de éstas pruebas de comparación de medias entre-grupos, también se realizó un **análisis de variancia mediante los ANOVA** para los datos de los VEP por sexos a fin de comprobar la existencia de diferencias significativas para los valores medios obtenidos para las latencias y amplitudes relativas a los componentes N100 y P100. En la **tabla 6.4(a)**, presentamos los datos de los ANOVA, y en ella puede comprobarse que no se hallaron diferencias significativas en cuanto al efecto de la variable sexo en ninguno de los parámetros VEP. Así, para la latencia N100 se obtuvo una $F_{(1,18)} = 0.0130$, no significativa; para la latencia del P100 un valor $F_{(1,18)} = 0.0257$, no significativo tampoco. En lo referente a las amplitudes medias: para el componente N1 fue de $F_{(1,18)} = 0.2512$; para el P1 una $F_{(1,18)} = 0.6003$; para la diferencia de amplitud N1-P1 tenemos una $F_{(1,18)} = 0.8495$. Todos ellos no significativos. En consecuencia, no se han observado diferencias significativas entre los grupos de la muestra, formada por mujeres y hombres, en las latencias y amplitudes de los componentes N100 y P100 en función de la variable sexo.

Tabla 6.4 (a). Resultados de los análisis de varianza de los datos del registro de las latencias y amplitudes de los componentes N100 y P100 de los VEP en función de la variable sexo.

	F	g.l.	p
Lat. N100	0.0130	1	0.9104
Lat. P100	0.0257	1	0.8744
Ampl. N1	0.2512	1	0.6223
Ampl. P1	0.6003	1	0.4485
Dif. Ampl. N1-P1	0.8495	1	0.3689

Nota tabla 6.4 (a): No se hallaron efectos significativos para la variable sexo en los parámetros de latencia y amplitudes de los componentes N1 y P1 de los VEP.

Para finalizar, y con el objetivo de comprobar si la longitud de la cabeza tenía un efecto significativo sobre el registro de los parámetros latencia y amplitud de los VEP, realizamos un análisis de la varianza, en el cual, en consecuencia, incluimos como variables dependientes todos los parámetros de los potenciales evocados visuales examinados (latencias N100 y P100, amplitudes N1 y P1 y diferencia de amplitud N1-P1). El ANOVA realizado solo nos permitió obtener los datos para el tercer valor del parámetro distancia, el valor denominado No-Ocp, del cual deriva el tercer valor para la distancia en el posterior cálculo de la VCN3.

En la tabla **6.4. (b)**. presentamos los resultados de los ANOVA. Obtuvimos para la latencia N100 un valor $F_{(1,18)}=1.8659$, no significativo; para la latencia P100 tenemos unos valores $F_{(1,18)}=2.9781$, no significativo; para la amplitud N1 una $F_{(1,18)}=1.5162$, no significativo; para la amplitud P1 un valor $F_{(1,18)}=0.9656$, no significativo; y para la diferencia de amplitud o amplitud relativa N1-P1 una $F_{(1,18)}=29.1167$ no significativa. En resumen, no se obtuvo efecto significativo para tercera medida de longitud (No-ocp) en el registro de ninguno de los parámetros de latencias y amplitudes. Para el resto de los valores de longitud del diámetro de la cabeza externo e interno, o las distancias Dia-Ext (inion-nasion) y Dia-Int. respectivamente, el computador cancela el análisis. De igual modo tampoco nos permitió realizar un análisis intragrupos. En un estudio similar, Stockard *et al.* (1979, citados por Guthkelch *et al.* 1987) observaron que los sujetos dentro de cada grupo de género (intragrupos) con mayores distancias inion-nasion tendían a presentar unas latencias más largas, aunque estas diferencias tampoco fueron estadísticamente significativas.

Tabla 6.4 (b). Resultados de los análisis de varianza de los datos del registro de las latencias y amplitudes de los componentes N100 y P100 de los VEP en función de la tercera variable de longitud craneoencefálica de la vía visual (No-Ocp).

	F	g.l.	p
Lat. N100	1, 8659	1	0,5265
Lat. P100	2, 9781	1	0,4305
Ampl. N1	1, 5162	1	0,5727
Ampl.P1	0, 9656	1	0,6777
Dif. Ampl. N1-P1	29, 1167	1	0,1450

Nota tabla 6.4. (b): No fue significativo el efecto para la tercera medida de distancia o longitud o de la vía visual (No-ocp) para el ninguno de los registros los parámetros de latencias y amplitudes de los VEP.

Las gráficas de las **figuras 6.3. y 6.4.** presentan los resultados correspondientes al registro de los VEP en la muestra experimental. En la **figura 6.3.** presentamos dos gráficas que ilustran la variabilidad respuestas representativas de los VEP de dos sujetos experimentales de la muestra de estudio (n=20). Puede observarse las dos latencias pico correspondiente a los 2 sujetos para ilustrar la variabilidad en la respuesta cerebral por la latencia P100.

El ordenador del equipo computerizado utilizado para el registro de los parámetros de los componentes de los VEP permite la obtención de la onda resultante final, el *gran average* (AVG) o el promediado total de todas la ondas generadas por el grupo de los sujetos experimentales. Así, mediante el promediado de las ondas de los distintos sujetos separados por sexos, hemos obtenido el AVG para el grupo de las mujeres y el AVG para el grupo de los hombres. En las gráficas que aparecen en la **figura 6.4.** podemos comparar visualmente las ondas resultantes del *gran average* (AVG) para el grupo de mujeres y hombres. En las que podemos observar que las ondas de los potenciales evocados visuales para ambos grupos son prácticamente iguales.

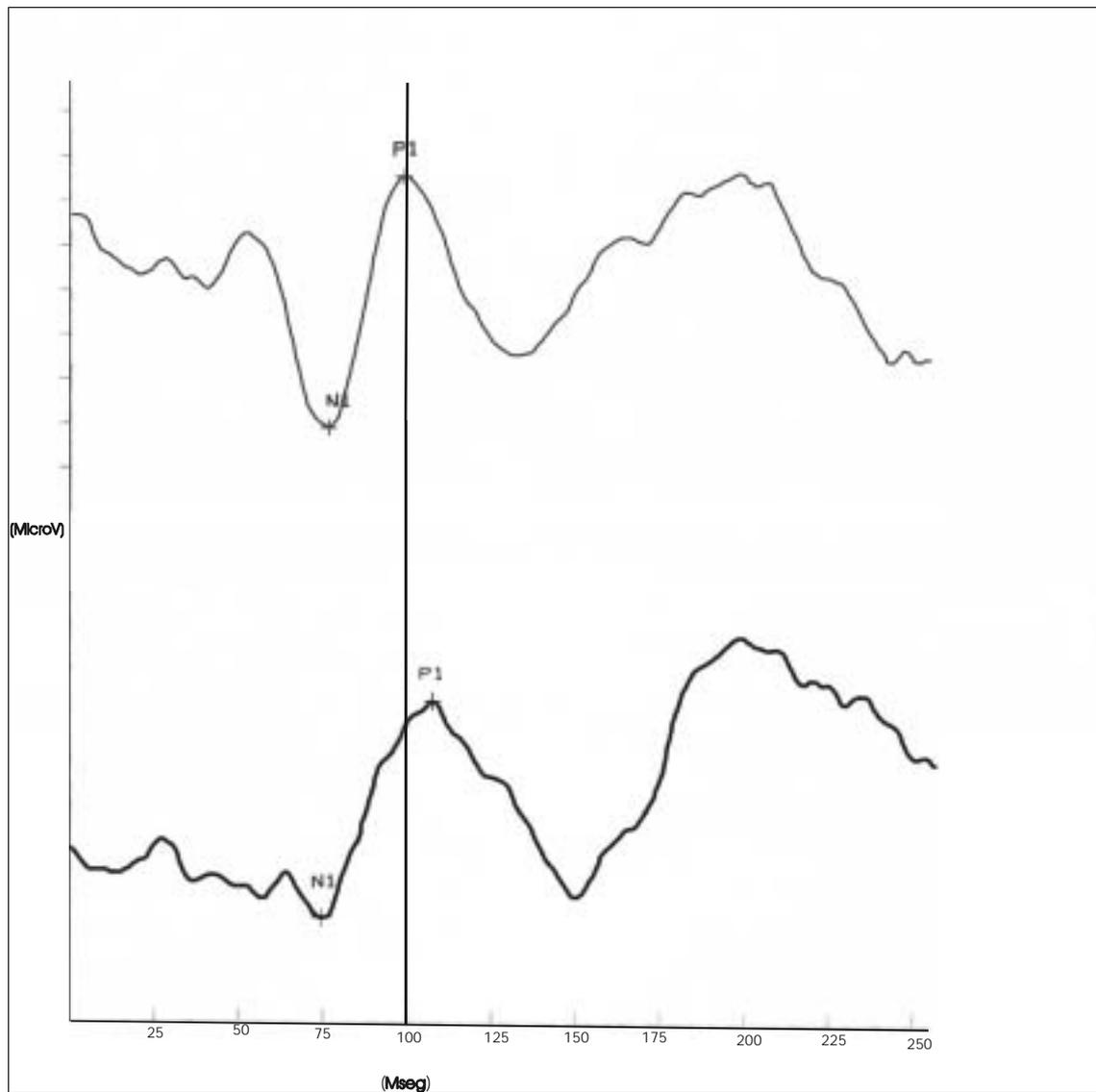


Fig. 6.3- Gráficas representativas para ilustrar la variabilidad de las respuestas de los VEP de dos sujetos experimentales. Cada curva es una señal promediada sobre los primeros 250 ms siguientes a la estimulación por el patrón reverso. La trayectoria de los VEP está caracterizada por varias ondas con 3 picos que presentan una polaridad negativa (N100), positiva (P100) y otra negativa (N200) respectivamente. *La curva de arriba* presenta unas latencias pico para la N100 y la P100 de 76.50 y 99 ms respectivamente. *La curva de abajo* presenta unas latencias para la N100 y la P100 de 73.50 ms y 107.50 ms respectivamente.

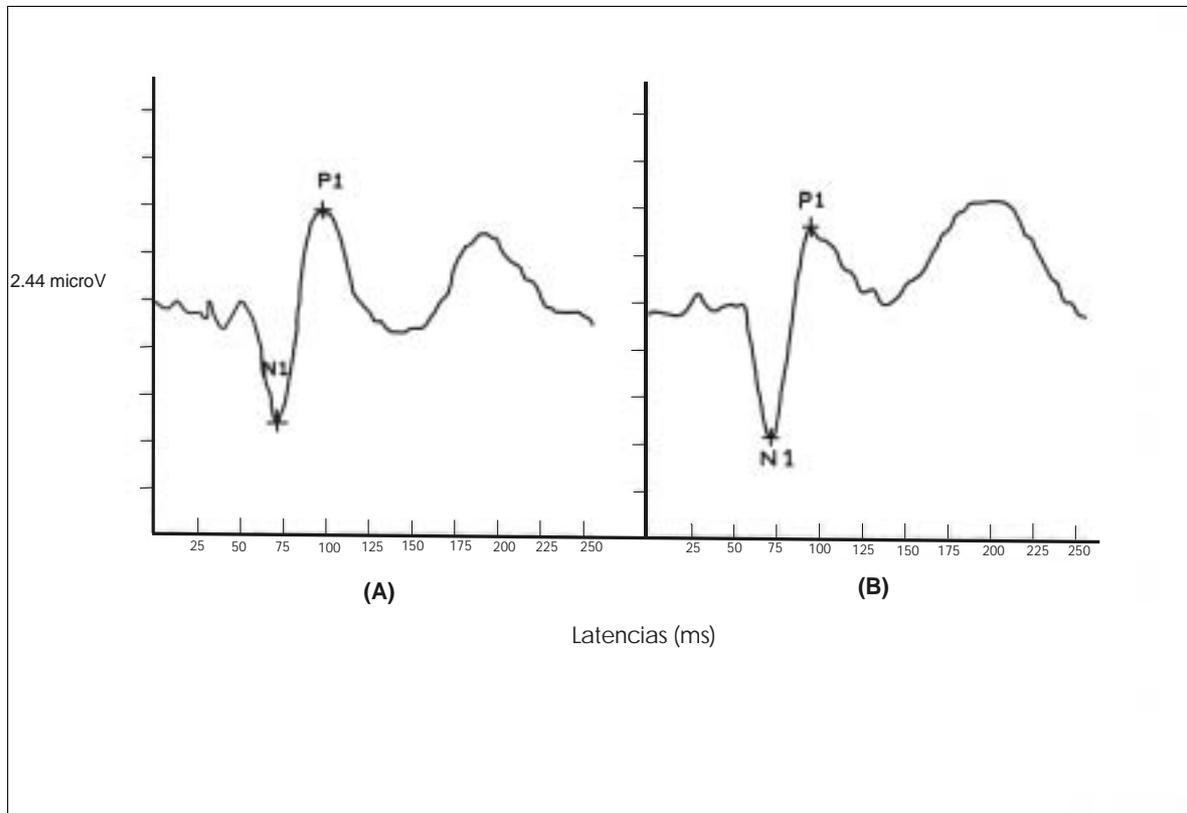


Fig. 6.4.- Gráficas representativas del promediado total o *gran average* (AVG), en las que se presenta el promedio de todas las ondas generadas por los VEPfs de los 20 sujetos del presente estudio separadas para el grupo de los hombres y para el grupo de las mujeres. La *curva de la izquierda* (A) representa el promediado para los 10 hombres. Y la *curva de la derecha* (B) es el promediado para las 10 mujeres.

6.2. Resultados para el parámetro distancia o longitud de la vía visual por RM.

Seguiremos tal y como ya realizamos anteriormente en la presentación de resultados en sus correspondientes tablas. En la **tabla 6.5.**, presentamos los datos, para cada uno de los 10 hombres y 10 mujeres que formaban la muestra estudiada, en referencia a variables físicas y a las medidas de longitud por RM. De éstas últimas se obtuvieron tres valores para el parámetro distancia por diferentes planos sobre los que se realizaron las medidas. Así, en el **plano sagital** se tomaron dos medias que denominamos: distancia **(1) o Dia-Ext.**, es la medida del diámetro antero-posterior que corresponde a la medida en mm de la línea cortical externa de la cabeza desde la identificación anatómica del inion-nasion y; distancia **(2) o Dia-Int.**, es la medida del diámetro antero-posterior que corresponde a la medida en mm de la línea cortical interna, que se trata de una segunda línea cortical trazada paralela a la anterior Dia-Ext. En el **plano transversal** reconstruido se tomó una tercera medida de la longitud de la vía visual denominada distancia **(3) o NO-Ocp**, que se corresponde con el sumatorio de la medida segmentada de la vía visual en 5 trazos (N-Op + QUI.GG + TEMP 1 + TEMP 2 + TEMP 3).

En la **tabla 6.6.**, presentamos los estadísticos descriptivos previos tales como medias, desviaciones estándar y valores mínimos y máximos para el total de la muestra de estudio. En la misma tabla se pueden observar los valores medios correspondientes a la distancia Dia-Ext. para ser comparados con los datos de referencia de otros estudios similares, tal y como nos planteamos en el **objetivo del punto C del apartado 5.2.2. de Método**. Podemos observar que hallamos unos valores promedio para la medida de la **distancia (1)** del diámetro externo que denominamos **Dia-Ext**, que se corresponden con una media de 197.91 mm (sd de 8.87), con unos valores mínimo y máximo de 176.9 -209 mm respectivamente.

La distancia Dia-Ext. se halló para establecer comparación con los valores hallados en otros estudios para las medidas craneoencefálicas externas de longitud. Así, tenemos el estudio de Wickett, Vernon *et al.* (2000) en el que presentan unos resultados para la medida antropométrica del diámetro externo de la cabeza de una media de 198.1 mm (sd de 0.59), con unos valores mínimo y máximo de 182.8-212 mm respectivamente. En el estudio de Reed y Jensen (1992) obtuvieron una media =199.9 mm (sd=0.51), con unos valores mín. y máx. de 182 y 214 mm respectivamente para la distancia o longitud de la vía visual. Para la que utilizaron medidas antropométricas del diámetro externo de la cabeza derivadas de métodos considerados de menor precisión que la RM para su estimación.

Tabla 6.5.- De medidas de longitud de la vía visual por Resonancia Magnética en mm.

Sujetos				Medidas de la longitud de la vía visual por Resonancia Magnética									
n°	h (cm)	p (Kg)	SEXO	EDAD	DIA-EXT	DIA-INT	NO-Op	QUI-NGL	TEMP1	TEMP 2	TEMP3	NO-OCP	
2	185	65	H	19	195.1	184.4	46.5	21.3	19.3	47.5	64.3	198.9	
3	190	80	H	21	209.0	197.9	50.2	21.6	16.7	45.6	65.9	200.0	
4	174	70	H	22	208.0	195.3	45.9	22.4	22.6	47.3	67.2	205.4	
5	190	80	H	22	207.5	196.4	51.8	21.1	19.4	54.8	59.3	206.4	
8	190	67	H	20	208.3	197.8	44.8	22.6	22.5	44.5	68.5	202.9	
9	185	60	H	23	200.5	192.3	45.4	22.1	24.5	44.3	61.2	197.5	
14	180	66	H	21	206.5	198.5	46.6	19.7	20.0	42.5	67.2	196.0	
15	178	81	H	21	207.6	197.2	51.9	22.0	15.9	46.3	62.9	199.0	
16	184	80	H	19	205.3	193.9	47.4	26.9	18.7	33.3	84.6	210.9	
18	174	76	H	19	197.2	189.1	52.5	24.1	23.0	46.9	60.8	207.3	
1	155	50	M	20	195.4	184.8	46.9	24.1	21.0	48.8	67.5	208.3	
6	164	54	M	20	187.2	179.7	47.3	18.4	24.5	47.5	53.1	190.8	
7	165	56	M	20	200.8	194.1	45.5	18.5	20.0	45.3	70.7	200.0	
10	170	57	M	19	196.4	189.9	43.8	21.4	19.1	42.0	65.9	192.2	
11	169	54	M	21	191.8	182.7	45.2	17.9	19.1	41.6	59.3	183.1	
12	160	49	M	19	188.3	180.6	48.3	24.4	15.9	37.1	62.4	188.1	
13	160	50	M	22	176.9	167.4	43.8	20.8	21.6	41.3	61.7	189.2	
17	168	50	M	22	196.5	188.3	44.9	21.0	21.8	44.3	58.0	190.0	
19	167	57	M	20	191.0	180.7	43.8	23.0	22.2	46.2	60.9	196.1	
20	160	45	M	21	188.9	181.8	41.3	20.9	20.4	49.6	61.2	193.4	

Dia- Ext = Línea cortical externa en el plano sagital del cerebro; Dia-Int = Línea cortical interna en el plano sagital. Y en el plano transversal reconstruido NO-Ocp = Medida segmentada de la vía visual que consta del sumatorio de 5 trazos; N-Op = Distancia entre el polo posterior del nervio óptico al punto medido del quiasma homolateral; QUI-NGL = Distancia desde el punto medio del quiasma óptico hasta el NGL; Temp 1 = Distancia entre el punto medio del NGL hasta la región medial del polo anterior del lóbulo temporal adyacente al atrio ventricular; Temp 2 = Distancia desde la región medial del polo anterior del lóbulo temporal hasta el tercio medio del lóbulo temporal adyacente al atrio ventricular homolateral; Temp 3 = Distancia desde la región del tercio medio del lóbulo temporal hasta el lóbulo occipital en el córtex visual primario (CVP) por debajo de la Cisura calcarina; M, Mujeres; H, Hombres; h, altura del cuerpo; p, peso corporal.

Así, en la **tabla 6.6.**, podemos comprobar que hemos hallado unos valores para el parámetro distancia comprendidos dentro del rango de los valores hallados en otros estudios realizados para las medidas de longitud craneoencefálicas externas. Otra de las observaciones es que nuestros datos presentan una mayor variabilidad, evidenciada por una mayor desviación estándar, que posiblemente es debida a la inclusión en nuestro estudio de grupos mixtos de mujeres y hombres en comparación con los estudios de los autores que citamos, en los que utilizaron grupos formados exclusivamente por muestras de hombres.

Nuestro estudio incluye, además, dos medidas más de longitud mediante la utilización de la técnica de la RM. Así, en la **tabla 6.6.**, tenemos que los valores para la medida de la **distancia (2)** denominada **Dia-Int.** son de media 188.63 mm (sd= 8.23), con unos valores máximo de 198.5 y mínimo de 167.4 mm. Y finalmente, para la tercera medida de **distancia (3)** que hemos denominado **No-Ocp**, tenemos unos valores medios de 197.78 mm (sd= 7.58), con unos valores máximo de 210.9 mm y mínimo de 183.1 mm.

Tabla 6.6.- Descriptivos de medias, desviaciones estándar, valores mínimo y máximo para las tres medidas del parámetro distancia (Dia-Ext., Dia-Int. y NO-Ocp) por RM para el total de la muestra de estudio (N=20).

Longitud de la vía visual (RM) en mm.						
	N	Dia-Ext. d (1)	Dia-Int. d (2)	No-Ocp. d (3)	N	Reed y Jensen (1992)
M	20	197.91	188.63	197.78	147	199.9
Sd	20	8.87	8.23	7.58	147	0.51
Mín.	20	176.9	167.4	183.1	147	182
Máx.	20	209	198.5	210.9	147	214

Nota tabla 6.6. : Pueden compararse los datos de la columna para la medida del parámetro distancia antero-posterior externa (Dia Ext.) distancia d (1) con de la columna de los datos para el mismo parámetro distancia en estudio de Reed y Jensen (1992) efectuado en una muestra de 147 sujetos hombres.

En la **tabla 6.7., mujeres y hombres**, se expone los valores de media (\bar{x}) y desviación estándar (sd), así como los valores mínimo y máximo correspondientes al parámetro distancia para las tres medidas ((Dia-Ext., Dia-Int. y No-Ocp) realizadas por RM. Dichos valores resultaron ser significativamente superiores en todos los casos en el grupo de hombres (**tabla 6. 8.**). Así las mujeres presentaron una longitud media respectiva a cada una de las tres distancias anteriores de 191.32 (sd= 6.66), 183 (sd=7.22), 193.12 (sd=7.02) mm y los hombres una longitud media de 204.50 (sd=5.03), 194.25 (sd=4.52), 202.43 (sd=4.90) mm de longitud para cada una de las tres distancias 1, 2 y 3 respectivamente.

Para las mujeres el rango de valores mínimo y máximo para cada una de las distancias (Dia-Ext., Dia-Int. y No-Ocp) fue de 176-200.80 mm, 167.40-194.10 mm y 183.10- 208.30 mm respectivamente; y para los hombres, el rango fue de 195.10-209, 184.40-198.50 y 196-210.90 mm respectivamente. Se presenta una diferencia media de longitud craneoencefálica para cada una de las tres distancias de 1, 2 y 3 de 13.18, 11.25 y 9.31 mm. respectivamente, superior en el grupo de los hombres. En nuestro estudio, la diferencia media general en la distancia o longitud craneoencefálica está cifrada en 11.25 mm. Así, el grupo de los hombres tenía una longitud promedio de la cabeza mayor en comparación con la de del grupo de las mujeres.

Tabla 6.7.- Descriptivos para las tres distancias (Dia-Ext, Dia Int y NO-Ocp) de longitud de la vía visual. Para el grupo de la mujeres (n=10) y el grupo de los hombres (n=10).

Parámetro distancia (d) en mm por RM.						
	Mujeres (10)			Hombres (10)		
	Dia-Ext.	Dia-Int.	No-Ocp	Dia-Ext.	Dia-Int.	No-Ocp
M	191.32	183	193.12	204.50	194.25	202.43
Sd	6.66	7.22	7.02	5.03	4.52	4.90
Mín.	176.90	167.40	183.10	195.10	184.40	196
Máx.	200.80	194.10	208.30	209	198.50	210.90

Notas tabla 6.7.:

Nota 1: El grupo de los hombres presentó una longitud promedio general (para las tres medidas, Dia-Ext, Dia-Int y No-ocp) superior en 11.25 mm a la longitud promedio del grupo de las mujeres.

Nota 2: Podemos observar, y era de esperar, que los valores máximos para cada una de las longitudes por RM se encuentran en el grupo de los hombres, mientras que los valores mínimos están en el grupo de las mujeres. En éstas también puede observarse una mayor variabilidad.

En la **Figura 6. 5.**, puede visualizarse gráficamente las diferencias en el parámetro distancia para cada una de las tres medidas craneoencefálicas de longitud de la vía visual (Dia-Ext, Dia-Int y No-Ocp) entre el grupo de mujeres y hombres. Y también pueden ser comparadas con los promedios totales.

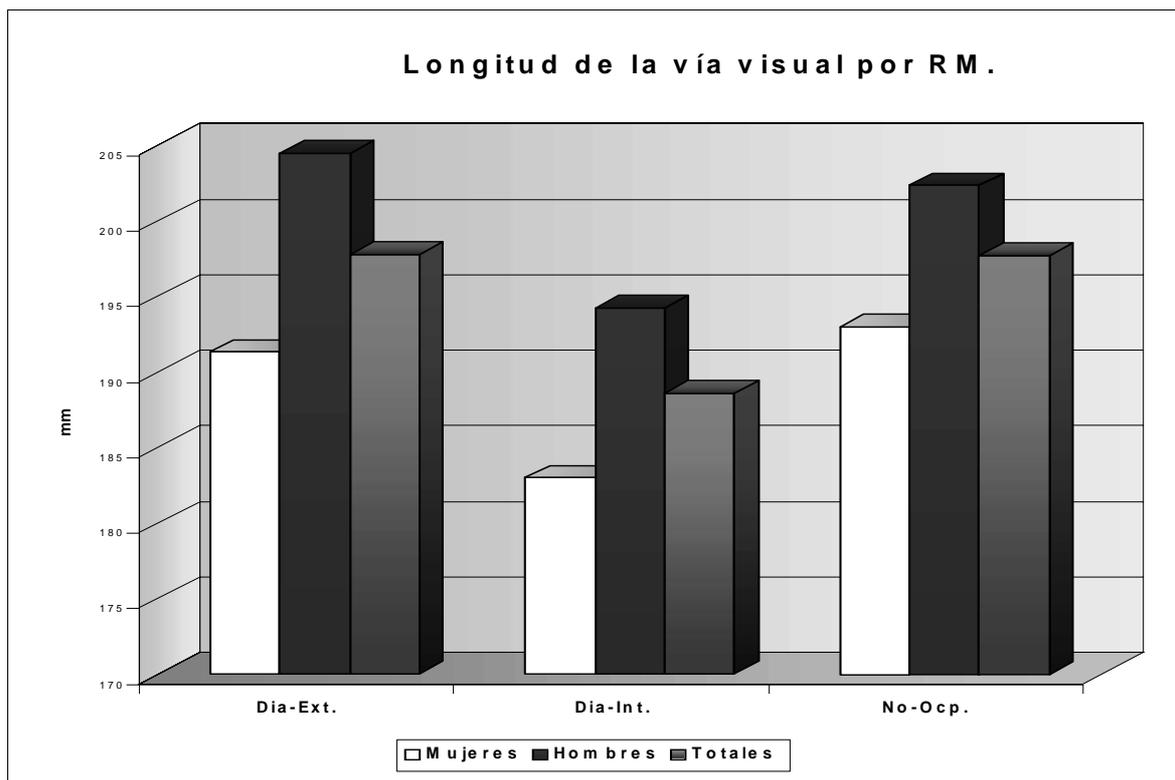


Fig.6.5.- Valores promedio para el parámetro distancia o longitud de la vía visual para los totales y para el grupo de las mujeres y los hombres.

Posteriormente, en los análisis efectuados para comprobar el supuesto de homogeneidad de varianzas mediante el **test de Levene**, hallamos para la distancia externa (Dia-Ext.) unos valores $F=0.212$, $p=0.650$; para la distancia interna (Dia-Int.) obtuvimos un valor $F=0.779$, $p=0.389$; para la tercera medida segmentada (No-Ocp) una $F=0.325$, $p=0.575$. Éstos resultados nos indican que se cumple el supuesto de igualdad de varianzas en nuestra muestra de estudio.

Procedimos a aplicar **la prueba t- Student** (g.l.18) con el objetivo de explorar diferencias debidas a la variable sexo en la longitud craneoencefálica. En los análisis de comparación de medias, obtuvimos para la distancia externa (Dia-Ext.) unos valores $t=4.99$ con un nivel de significación de $p=0.000$. Para ésta distancia, la diferencia de medias es de 13.18 mm entre mujeres y hombres. Para la distancia interna (Dia-Int) obtuvimos unos valores $t=4.18$ con un nivel de significación de $p=0.001$. Para ésta distancia, obtuvimos una diferencia de medias de 11.25 mm superior en el grupo de los hombres. Finalmente, para la tercera medida de la longitud de la vía visual (No-Ocp) obtuvimos un valor $t=3.44$ con un nivel de significación de $p=0.003$. Para ésta distancia obtuvimos una diferencia de medias de 9.31 mm mayor en el grupo de hombres.

De igual modo, y con la finalidad de comprobar si había diferencias significativas debidas al efecto de la variable sexo en el parámetro distancia procedimos a realizar una **análisis de varianza**. En la **tabla 6. 8.**, se exponen los resultados del ANOVA para los tres valores hallados (Dia- Ext, Dia- Int y No-Ocp) del parámetro distancia (d) con RM. En todos los casos fueron significativas las diferencias para éste parámetro entre el grupo de las mujeres y los hombres. Así, tenemos: para la distancia (1) Dia-Ext. ($F_{(1,18)}=249.262$, $p=0.0001$); d (2) Dia-Int. ($F_{(1,18)}=174.498$, significación $p=0.0002$); y finalmente, para la distancia (3) No-Ocp ($F_{(1,18)}=118.249$, con un nivel de significación $p=0.0029$).

En resumen, como figura en la **tabla 6.8.**, existen diferencias significativas para ambos grupos de nuestro estudio (mujeres y hombres) en cuanto al parámetro distancia en cada una de las tres medidas derivadas de los cortes tomográficos sagitales (Dia-Ext y Dia-Int) y transversales (No-Ocp) mediante los ANOVA y el test-t.

Los datos de las correlaciones entre altura del cuerpo (h) y las tres medidas de longitud de la cabeza Dia Ext., Dia-Int. y No-ocp son de ($r=0.7262$, $p=0.000$),

($r=0.7127$, $p=0.000$) y ($r=0.438$, $p=0.053$) respectivamente. La altura corporal está relacionada con la longitud de la cabeza para el total de la muestra de hombres y mujeres cuando es valorada conjuntamente (como grupo total). Así, los sujetos más altos de la muestra tenían una mayor longitud de la cabeza también.

Tabla 6.8.- Resultados del análisis de varianza para las tres medidas (Dia-Ext., Dia- Int. y No-Ocp) del parámetro distancia (d) halladas con RM.

	F	g.l.	p
Dia-Ext	249.262	1	0.0001
Dia-Int	174.498	1	0.0006
No-Ocp	118.249	1	0.0029

Nota tabla 6.8.: Los ANOVA para las tres medidas del parámetro distancia o longitud craneoencefálica indican que las diferencias son en todos los casos estadísticamente significativas entre el grupo de las mujeres y el grupo de los hombres.

6.3. Resultados para el índice de velocidad de conducción nerviosa (VCN) en la vía visual.

Procederemos a la presentación de los resultados para el índice de la velocidad de conducción nerviosa (VCN) neurovisual que hemos calculado por un cociente de velocidad. Ésta viene expresada en metros por segundo (m/s), por la distancia o longitud, como una *ratio* de respuesta de latencia. En primer lugar expondremos los datos correspondientes a los descriptivos estándar para el total de la muestra y los compararemos con los resultados obtenidos por el estudio de Reed y Jensen (1992). Luego presentamos los valores de los estadísticos descriptivos separados para las mujeres y para los hombres.

Los resultados de los valores promedio para el índice de la VCN neurovisual serán presentados gráficamente con la finalidad de inspeccionarlos visualmente. Y a continuación, presentamos los resultados del análisis de varianza y comparación de medias, de los cuales nos interesa saber si existen diferencias significativas debidas al efecto de las variables sexo y longitud de la vía visual para el índice VCN. Además de comprobar previamente el supuesto de homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene.

En la **Tabla 6.9.**, y para el total de los 20 sujetos de la muestra experimental, se presentan los resultados en referencia a medias, desviaciones estándar valores mínimos y máximos para el índice VCN neurovisual, del cual obtuvimos tres valores que se corresponden con las tres medidas generadas para el parámetro distancia o longitud de la vía visual. Así, los tres valores resultantes del cociente de velocidad (v) (distancia/tiempo) del índice que calculamos (VCN1, VCN2 y VCN3) derivaron de: las tres medidas del parámetro distancia (d); d (1), Dia-Ext.; d (2), Dia-Int.; y d (3), No-Ocp respectivamente; y del parámetro tiempo (t) (latencia P100). También en la misma **tabla 6.9.**, se pueden observar los valores del estudio de referencia para ser comparados con los nuestros, según la finalidad expuesta en el **objetivo B del apartado 5.2.3. de método**. De los tres valores que hemos hallados para índice VCN, comparamos, concretamente, el valor VCN1, cuyo cálculo deriva del parámetro distancia (1) Dia-Ext. o de la medida del diámetro externo de la cabeza.

Así, nuestro valor de la VCN1 lo comparamos con el valor para la NCV (*Brain nerve conduction velocity*) calculada desde el parámetro antropométrico de longitud externa (d) de la cabeza en el estudio de Reed y Jensen (1992). La **tabla 6.9.** nos indica que los valores medios para el índice VCN1, VCN2 y VCN3 son de 2.04, 1.95 y 2.04 m/s, con una sd de 0.20, 0.19 y 0.21 respectivamente. La desviación estándar presenta poca variabilidad para cada uno de los tres valores del índice VCN en la muestra total. El valor de la VCN3 fue obtenido desde el parámetro distancia (3) No-Ocp, el cual se obtuvo desde la visualización de la trayectoria de la vía visual mediante el diseño de un protocolo específico por RM ideado para tal propósito.

Tabla 6.9.- Descriptivos para los tres valores del índice de la VCN neurovisual, derivada de la latencia P100 de los VEP. Para el total de la muestra (N=20). Los valores medios del índice VCN en m/s .

VCN neurovisual (m/s)					
	N	Media	SD	Mín.	Máx.
VCN1	20	2.04	0.20	1.56	2.34
VCN2	20	1.95	0.19	1.49	2.22
VCN3*	20	2.04	0.21	1.55	2.38
NCV	147	1.99	0.09	1.75	2.22

Notas tabla 6.9.:

Nota 1: El valor del índice de la VCN, derivado de la latencia P100 de los VEP, lo hemos hallado a través de un cociente de velocidad que viene expresado, en metros por segundo, por la distancia o longitud de la vía visual, como una *ratio* de respuesta de latencia (tiempo).

Nota 2: El valor para **la VCN3*** fue obtenido desde la medida de distancia (3) No-Ocp, que se obtuvo desde la visualización de la trayectoria del nervio óptico por la vía visual mediante el diseño de un protocolo específico por RM ideado para tal propósito.

Nota 3: *NCV (Brain Nerve Conduction Velocity)*. Datos del valor índice de VCN, derivados de la latencia P100 de los VEP, obtenidos por Reed y Jensen (1992) que en nuestro estudio son comparados con el valor de VCN1 hallado desde la distancia (1) de la medida de longitud externa, que hemos denominado Dia-Ext.

En estudio de Reed y Jensen (1992) se obtuvo un valor medio para la VCN neurovisual, derivada de la latencia P100, de 1.99 m/s (sd=0.09) que en nuestro estudio se corresponde con el valor medio de VCN1 de 2.04 (sd=0.19) m/s. Por lo tanto hemos replicado los resultados hallados por estos autores. En lo referente a la desviación estandar, ésta se nos incrementa en comparación con el estudio de Reed y Jensen (1992), quizás porque utilizaron un número mayor de sujetos (n=147 hombres), y en consecuencia, la sd fue menor.

En el estudio de Reed y Jensen (1992) también calcularon el valor de la VCN desde el parámetro tiempo por la latencia del componentes N70 o N100 (un potencial en el rango de los 75 ms que reflejaría transmisión sensorial inicial). Los datos para éste componente, relativos a los descriptivos generales, están expuestos en la **tabla 6.1**. En su estudio obtuvieron un valor para la VCN derivada del N70 o N1 de 2.77 m/s (sd=0.15), comprendida en unos valores mínimo de 2.44 y máximo de 3.20 m/s. De manera que observamos que con la VCN calculada desde la latencia N100 se obtiene una VCN ligeramente superior que la obtenida desde la latencia P100 (un potencial en el rango de los 100 ms). Puede explicarse porque al ser el tiempo o la latencia menor (denominador), el cociente de la velocidad se incrementa.

Los estadísticos descriptivos del índice VCN neurovisual (VCN1, VCN2 y VCN3) separados por grupos de mujeres y hombres se exponen en la **tabla 6.10**. Los datos nos indican que:

A) VCN 1: Los valores promedio para la mujeres son de 1.99 m/s y una sd=0.22 y los hombres presentan un valor medio de 2.1 m/s y una (sd=0.17). Estos valores se presentan comprendidos en un rango de un valor mínimo de 1.75 m/s y de valor máximo 2.34 m/s para los hombres, y para las mujeres de valor mínimo 1.56 m/s y máximo de 2.23 m/s.

B) VCN 2: Las mujeres presentan un valor medio de 1.90 m/s y una sd=0.21 y los hombres presentan una valor medio de 1.99 m/s y una sd=0.16. Estos valores están comprendidos en un rango de valor mínimo de 1.68 m/s y de valor máximo 2.22 m/s para los hombres, y para las mujeres un valor mínimo 1.49 m/s y máximo de 2.11 m/s.

C) VCN 3: Los valores medios para la mujeres son 2.01 m/s con una sd=0.23 y para los hombres son de 2.08 m/s con una sd=0.19. Estos valores se presentan

comprendidos para las mujeres en un rango de valor mínimo de 1.55 m/s y máximo de 2.38 m/s y para los hombres en un rango de valor mínimo de 1.66 m/s y de valor máximo 2.28 m/s.

Así, podemos ver que las mujeres presentan mayor variabilidad entorno a la media y obtienen los valores mínimos y máximos en el índice VCN neurovisual del total de la muestra, con el valor mínimo para la VCN2 que corresponde a 1.49 m/s y el valor máximo para la VCN3 de 2.38 m/s.

Tabla 6.10.- Descriptivos de las tres medidas del índice de la VCN:P100 para el grupo de las mujeres (n=10) y el de los hombres (n=10).

Índice VCN neurovisual (m/s)								
	Mujeres				Hombres			
	media	Sd	Mín.	Máx.	media	Sd	Mín.	Máx.
VCN1	1.99	0.22	1.56	2.23	2.10	0.17	1.75	2.34
VCN2	1.90	0.21	1.49	2.11	1.99	0.16	1.68	2.22
VCN3	2.01	0.23	1.55	2.38	2.08	0.19	1.66	2.28

Nota de la tabla 6.10.: Obsérvese que las mujeres presentan mayor variabilidad que los hombres para los valores del índice de la VCN neurovisual. Para las mujeres, el valor mínimo para la VCN2 es de 1.49 m/s y para los hombres, el valor mínimo es de 1.66 m/s en la VCN3. Y el valor máximo para ellas está en la VCN3 y es de 2.38 m/s y el valor máximo para ellos es de 2.34 m/s en la VCN1. Las mujeres obtienen los valores inferiores y superiores en VCN de toda la muestra total.

En la **Figura 6.6.** presentamos gráficamente los valores promedio para el índice de la velocidad de conducción nerviosa neurovisual para el grupo de las mujeres y para el grupo de los hombres y para los totales.

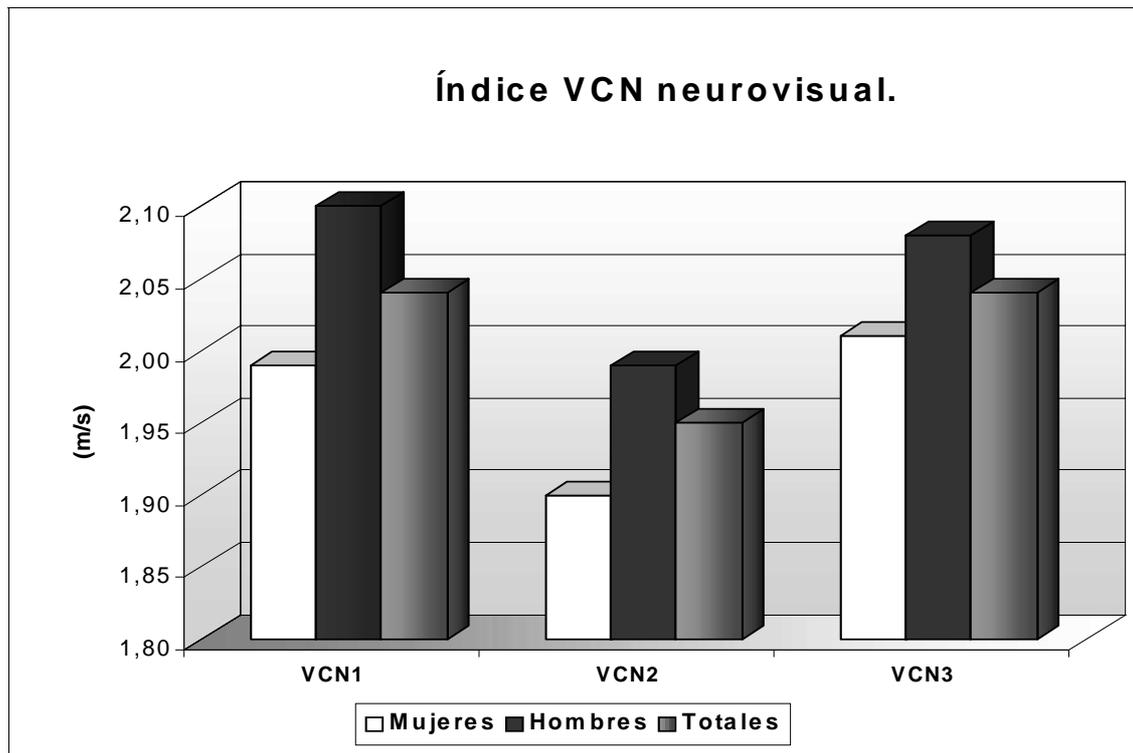


Fig.6.6.- Valores medios relativos al índice VCN neurovisual para mujeres, hombres y totales.

Con la finalidad de comprobar si había diferencias significativas entre los distintos valores para la VCN neurovisual se realizaron las pruebas de comparación de medias mediante **el test-t de Student y un análisis de varianza (ANOVA)**. Previamente, mediante la aplicación del **test de Levene**, comprobamos que se cumplía el supuesto de homogeneidad de varianzas para cada uno de los valores del índice de la VCN neurovisual con un valor F no significativo en todos los casos. Así, tenemos que para el índice VCN1 se obtiene un valor $F=0.345$, $p=0.564$, con una diferencia media de 0.1084; para la VCN2 se obtuvo una $F=0.694$, $p=0.416$, con una diferencia media de 0.0894; y finalmente para la VCN3, una $F=0.197$, $p=0.662$, con una diferencia media de 0.0694.

Los valores para la t de Student ($g.l=18$) fueron de $t=1.22$, no significativo para la VCN1; un valor t de 1.07, no significativo para la VCN2; y finalmente un valor t de 0.73, no significativo para la VCN3. Por lo tanto, no se hallaron diferencias de sexo estadísticamente significativas para ninguno de los valores del índice de la velocidad de conducción nerviosa neurovisual mediante el test-t.

En la **tabla 6.11 (a)**., presentamos los análisis de varianza (ANOVA), para cada uno de los diferentes valores de la VCN neurovisual, por sexos. Los valores fueron para la VCN1 de ($F_{(1,18)} = 1.4932$; no significativo); para la VCN2 una ($F_{(1,18)} = 1.1387$; no significativo) y para la VCN3 de ($F_{(1,18)} = 0.5352$; no significativo). No se hallaron diferencias significativas para la variable sexo en ninguno de los valores del índice de la VCN neurovisual derivado de la latencia P100 mediante los ANOVA.

Tabla 6.11 (a).- Resultados del análisis de varianza para los tres valores del índice VCN derivado de la latencia P100, para valorar los efectos de la variable sexo.

	F	g.l.	p
V C N 1	1 , 4 9 3 2	1	0 . 2 3 7 5
V C N 2	1 , 1 3 8 7	1	0 . 3 0 0 0
V C N 3	0 , 5 3 5 2	1	0 . 4 7 3 8

Nota tabla 6.11 (a).: No se hallaron diferencias significativas debidas al efecto de la variable sexo para ninguno de los valores del índice de la VCN neurovisual derivado de la latencia P100.

Anteriormente y con la finalidad de comprobar el efecto de la longitud de la cabeza en los parámetros latencia y amplitud de los VEP se procedió a realizar un análisis de varianza entre grupos, en el que no hallamos efecto significativo sólo para la tercera variable No-ocp. Aquí pretendemos estudiar el posible efecto del parámetro distancia o longitud de la vía visual en el índice VCN. El análisis estadístico solo permitió realizar los ANOVA para el tercer parámetro distancia NO-Ocp, cancelando el análisis para los demás parámetros Dia-Int, Dia Ext. Tampoco nos permitió realizar un análisis intragrupo. En la **tabla 6.11 (b)**., presentamos los valores para la VCN 1 que son de una $F_{(1,18)} = 11.9908$, no significativo; para la VCN2 un valor $F_{(1,18)} = 4.9171$, no significativo; y para la VCN3 una valor $F_{(1,18)} = 3.5742$, no significativo. En resumen, no hallamos efecto para la tercera medida de la longitud (No-ocp) en el los valores del índice de VCN neurovisual.

Tabla.6.11 (b).- Resultados de los ANOVA para valorar los efectos de la longitud de la cabeza (No-Ocp) sobre el índice VCN neurovisual.

	F	g.l.	p
VCN 1	11, 9908	1	0, 2240
VCN 2	4, 9171	1	0, 3426
VCN 3	3, 5742	1	0, 3965

Nota 6.11 (b).: No hallamos efecto significativo para la tercera medida de la longitud craneoencefálica (NO-Ocp) en el índice VCN neurovisual derivada del P100.

6.4. Resultados para las medidas inteligencia psicométrica (CI).

En este apartado describiremos los resultados de los tests para la medida de la inteligencia psicométrica o el cociente intelectual (CI). Presentaremos los resultados de los estadísticos descriptivos, tales como el CI medio obtenido por las Matrices Progresivas Avanzadas (*Advanced Matrices Progresives, AMP*) Escala Superior (Raven, 1996). Así como los valores de CI medio para las escalas, total, verbal y manipulativa, calculados mediante *La Escala de Inteligencia para Adultos de Wechsler* (WAIS) (Wechsler, 1993). Posteriormente, presentaremos los datos de CI para cada uno de los subtests del WAIS, para los factores de inteligencia del WAIS y para los factores Gc-Gf-Gsar.

En el **apartado 6.5.** presentaremos los datos del estudio correlacional entre las puntuaciones de inteligencia psicométrica, el índice de la VCN y sus parámetros conjuntamente para la muestra total que está formada por dos grupos de sujetos diferenciados en cuanto a la variable sexo. Así, al realizar el análisis conjunto, nos interesa controlar la homogeneidad de la muestra en medidas psicométricas de inteligencia general o fluida. De manera que para éstas medidas presentaremos los datos de los estadísticos descriptivos por separado, así como los ANOVA.

6.4.1. Resultados para el CI globales de los tests WAIS y AMP.

En la **tabla 6.12.**, presentamos los datos referentes a los resultados promedio de CI de la prueba de inteligencia de las AMP de Raven para ($n=20$). Para los totales de la muestra obtenemos unos valores de CI medio=113.75 y $sd= 8.59$, con unos valores mínimo de 95 y máximo de 127 comprendidos en un rango de 32.

En la misma tabla **6.12.** también presentamos los valores referentes a los resultados del CI promedio de las escalas globales del WAIS (Total, Verbal y Manipulativa) y el CI Prorrateado. Los resultados se presentan en forma de media, desviación estándar (sd), valores mínimo-máximo y rango. Así, tenemos que para el total de la muestra ($n=20$) se presentan unas puntuaciones promedio para el CI Total WAIS de 121.55 con una desviación estándar (sd) de 7.58, en un rango de 104 a 132. El CI Verbal presenta unas puntuaciones promedio de 119.10 y una ($sd=7.31$) con un rango de 104-130. El CI Manipulativo presenta un valor promedio

de 118.90 y una $sd= 7.40$, con un rango de 103 -133. Finalmente, unos valores promedio para el CI prorrateado son de 119.08 con una $sd=7.38$ y con un rango de valores de 106.67-131.67.

Tabla 6.12.- De descriptivos para los CI Total, Verbal, Manipulativo y Prorrateado del WAIS y las AMP. Para $n=20$.

CI GLOBALES WAIS Y AMP						
	N	CI	sd	Mín.	Máx.	Rango
CI Total WAIS	20	121.55	7.58	104	132	28
CIV	20	119.10	7.31	104	130	26
CIM	20	118.90	7.40	103	133	30
CI Pror.*	20	119.08	7.38	106.67	131.67	25
AMP Raven	20	113.75	8.59	95	127	32

Nota tabla. 6.12. Se observan altas desviaciones estándar con respecto a la media de la población (media=100 y $sd=15$). Por lo tanto hemos de considerar la posibilidad de que, además de los posibles efectos por la restricción de rango, las puntuaciones del CI global puede estar también sobreestimadas en nuestra muestra por el *efecto Flynn*.

Con el objetivo de analizar el grado de concordancia y fiabilidad para la medida del cociente intelectual se procedió a realizar una análisis de correlación bivariada de Pearson entre las escalas del WAIS y las AMP. En la **tabla 6.13.** observamos que el CI medio Total del WAIS correlaciona con tendencia positiva (aunque no es estadísticamente significativa) con las AMP ($r=0.417$) con una $p= 0.067$. Después de aplicar el contraste de Bonferroni, la relación es significativa con una $p<0.0005$. El CI Manipulativo correlaciona significativamente con las AMP ($r=0.487$) con una significación $p=0.029$. Sin embargo, el CI Verbal del WAIS no presenta correlación con las AMP. Podemos observar que el CI medio Total del WAIS correlaciona más altamente con el CIV ($r=0.917$, $p= 0.000$) que con la escala manipulativa ($r=0.841$,

$p=0.000$). El CI Manipulativo correlaciona positivamente sin llegar al grado de significación con el CI Verbal ($r=0.587$) y una $p=0.07$. Después de aplicar el contraste de Bonferroni obtenemos una significación estadística requerida de $p<0.005$.

Tabla 6.13.- Matriz de correlaciones entre las medidas psicométricas de la inteligencia CI total, CI Verbal y CI manipulativo del WAIS y las AMP. Para (N=20).

	CI WAIS	CIV	CIM	CI AMP
CIV	0.917 $p=0.000$			
CIM	0.841 $p=0.000$	0.587 $p=0.007$		
CI AMP	0.417 $p=0.067$	0.291 $p=0.213$	0.487 $p=0.029$	
CI pror.	0.654 $p=0.002$	0.471 $p=0.036$	0.803 $p=0.000$	0.513 $p=0.021$

Notas de la tabla 6.13.:

Nota 1: El CI AMP correlaciona con el CI manipulativo y el CI prorrteado y no correlaciona con el CI Verbal. Obsérvese que el CI total correlaciona más altamente con el CI verbal que con el CI manipulativo del WAIS. El CI prorrteado correlaciona con todas las escalas del WAIS, con lo que podemos considerar que es una medida predictiva de la escala Total del WAIS.

Nota 2 : Aplicando la corrección de Bonferroni tenemos una $p<0.005$ significativa para la relación entre el CI AMP y el CI total WAIS.

También podemos observar en la **tabla 6.13.** que la forma corta estimativa del CI total por el **CI prorrteado** desde los subtests de vocabulario, semejanzas y cubos de kohs, correlaciona positiva y significativamente con todas las escalas de WAIS, y más estrechamente con la manipulativa. Presenta una correlaciones de ($r=0.654$, $p=0.002$) con el CI Total; una ($r=0.471$, $p=0.036$) con el CI Verbal; y una ($r=0.803$, $p=0.000$) para el CI Manipulativo; y una ($r=0.504$, $p=0.023$) para las AMP. De manera que podemos considerar que el CI prorrteado resulta válido para

predecir la escala total del WAIS, al satisfacer los criterios de correlacionar positiva y significativamente con todas las escalas.

6.4.2. Resultados para los CI de los subtests del WAIS.

En la **Tabla 6.14.**, presentamos los valores de las puntuaciones directas (no de CI) de los subtests del WAIS para los totales de la muestra. Los datos del CI medio para cada uno de los subtests han sido hallados a partir los estadísticos de media y desviaciones estándar del CI Total (media= 100 y sd= 15) y de los estadísticos típicamente normalizados para cada uno de los subtests (media=10 y sd=3).

En la **Tabla 6.15.** presentamos los datos del CI medio para el total de la muestra (n=20) y los valores de los estadísticos descriptivos referentes a desviaciones estándar, valores mínimo y máximo para cada uno de los subtests del WAIS. En cuanto a la **escala verbal:** para el subtest de información (1) tenemos unos valores de media 118.5 y una sd (8.29), para el subtest de comprensión (2) una media de 110.5 y una sd (10.25), para aritmética (3) una media de 109.75 y una sd (12.40), para semejanzas (4) una media de 123.25 y una sd (8.63), para dígitos (5) una media de 117.75 y una sd (15.77), y finalmente para el subtest de vocabulario (6) una media de 116 y una sd de 6.41.

En cuanto a la **escala manipulativa:** para el subtest de clave de números (7) una media de 123.5 y una sd (10.01), para el subtest de figuras incompletas (8) una media de 106.25 y una sd (8.56), para el subtest de cubos de kohs (9) una media de 118 y una sd (11.96), para el subtest de historietas (10) una media de 112.5 y una sd (8.81), y para el subtest de rompecabezas (11) una media de 112.75 y una sd de 12.19.

Tabla 6.14.- Puntuaciones directas de los subtests del WAIS.

Subtests WAIS	Totales (N =20)				
	Media	sd	Mín.	Máx.	rango
Información	13.70	1.66	12	19	7
Comprensión	12.10	2.05	7	16	9
Aritmética	11.95	2.48	8	18	10
Semejanzas	14.65	1.73	11	18	7
Dígitos	13.55	3.15	8	16	8
Vocabulario	13.20	1.28	11	16	5
Clave de Números	14.70	2.00	12	18	6
Figuras Incompletas	11.25	1.71	9	15	6
Cubos Kohs	13.60	2.39	10	18	8
Historietas	12.50	1.76	9	16	7
Rompecabezas	12.55	2.44	8	18	10

Tabla 6.15.- Descriptivos de los CI para cada uno de los subtests del WAIS para el grupo total de la muestra.

Subtests WAIS	Totales (N=20)				
	CI	sd	Mín	Máx	rango
Información	118.50	8.29	110.00	145.00	35
Comprensión	110.50	10.25	85.00	130.00	45
Aritmética	109.75	12.40	90.00	140.00	50
Semejanzas	123.25	8.63	105.00	140.00	35
Dígitos	117.75	15.77	90.00	140.00	50
Vocabulario	116.00	6.41	105.00	130.00	25
Clave de Números	123.50	10.01	110.00	140.00	30
Figuras Incompletas	106.25	8.56	95.00	125.00	30
Cubos Kohs	118.00	11.96	100.00	140.00	40
Historietas	112.50	8.81	95.00	130.00	35
Rompecabezas	112.75	12.19	90.00	140.00	50

En la **tabla 6.16.**, presentamos la matriz de correlaciones donde aparecen los resultados de la intercorrelaciones entre los 11 subtests del WAIS, así como los datos de las correlaciones entre cada uno de éstos con el CI total WAIS, CI Verbal, CI Manipulativo, CI Prorrrateado y las AMP.

En cuanto a las **intercorrelaciones entre los subtests**, destacaremos que éstas oscilan entre los valores aproximados de mínima 0.40 a 0.92 de máxima. El subtest de **información (I)** correlaciona significativamente con los subtests verbales de aritmética y vocabulario, también con los subtests no verbales de clave numérica y rompecabezas y con todas las escalas del WAIS. **Comprensión (C)** no presenta intercorrelaciones significativas con el resto de los subtests del WAIS, y en cambio, sí correlaciona con todas las escalas del WAIS. **Aritmética (A)** no se interrelaciona con ningún subtest no verbal (incluidos las AMP, Cubos, CI manipulativo) mientras que sí correlaciona con la escala Verbal (CIV), con la escala Total WAIS y con el subtest verbal de información. **Semejanzas (S)** correlaciona con vocabulario, figuras incompletas y cubos de Kohs, con todas las escalas del WAIS y con el CI prorrrateado y las AMP. **Dígitos (D)** no presenta intercorrelaciones con ninguno de los subtests, solamente correlaciona con la escala verbal del WAIS. **Vocabulario (V)** correlaciona con figuras incompletas, cubos de Kohs, con todas las escalas del WAIS y con el CI prorrrateado.

Clave numérica (CN), en general, no presenta intercorrelaciones con ninguno de los subtests manipulativos y verbales, solo correlaciona con la escala total y con el subtest de rompecabezas. **Figuras incompletas (FI)** correlaciona con los subtests verbales de semejanzas y vocabulario; mientras que no correlaciona con ningún subtest no verbal, sí correlaciona con las escalas total, manipulativa y con el CI prorrrateado. **Cubos de Kohs (CK)** correlaciona significativamente con los subtests verbales de semejanzas y vocabulario y con el subtest no verbal de figuras incompletas; correlaciona con los CI de las escalas total, manipulativa, con el CI prorrrateado y con las AMP y no lo hace con la escala verbal (CIV). **Historietas (H)** no presenta intercorrelaciones con ninguno de los subtests verbales, únicamente correlaciona con la escala total de WAIS y con rompecabezas. **Rompecabezas (R)** correlaciona con el subtest verbal de información y con el CI manipulativo.

En cuanto **a la escala verbal (CIV)**, todos los subtests verbales correlacionan de manera significativa con ésta escala, mientras que no correlacionan con ella los

subtests no verbales a excepción de Historietas. **La escala manipulativa (CIM)** presenta correlaciones significativas con los subtests verbales de información, comprensión, semejanzas y vocabulario, y se correlaciona con los subtests no verbales de figuras incompletas, cubos y rompecabezas. No presentaron correlaciones significativas con la escala manipulativa los subtests de aritmética, dígitos, clave numérica e historietas.

El **CI prorrateado (CI pror.)** correlaciona significativamente con los subtests de semejanzas, vocabulario y cubos, mientras que no presenta correlaciones significativas con el resto de los subtests del WAIS, y sí correlaciona con las escalas verbal, manipulativa y total del WAIS y con las AMP. **Las AMP** correlacionan significativamente con el subtest verbal de semejanzas y no presentan intercorrelaciones para ninguno de los restantes test verbales. Las AMP se interrelacionan con los subtest no verbales de Cubos de Kohs y con la escala manipulativa. Acerca de las correlaciones **entre todos los diferentes subtests con el CI de la escala total del WAIS**, hay que reseñar que, en general puede observarse que todos los subtests están positivamente correlacionados con **el CI total del WAIS** (exceptuando dígitos y rompecabezas), lo que demostraría el solapamiento positivo de todos los subtests representativos de la medida de todas las capacidades cognitivas en **un patrón de correlación global y positiva** con el CI total. Destacamos que la correlación más elevada para el CI Total es con la escala verbal ($r=0.917$, $p= 0.000$)

Tabla 6.16.- De Intercorrelaciones entre los subtests del WAIS y las AMP. Para n=20.

Subtests del WAIS	I	C	A	S	D	V	CN	FI	CK	H	R	CIT	CIV	CIM	AMP
Comprensión (C)	-0,080														
Aritmética (A)	0,495*	0,001													
Semejanzas (S)	0,145	0,263	-0,053												
Dígitos (D)	-0,279	0,284	0,313	0,095											
Vocabulario (V)	0,525*	0,291	0,152	0,528*	-0,237										
Clave de Núm.(CN)	0,511*	-0,005	0,410	0,151	0,227	0,168									
Figuras Incompl.(FI)	0,213	0,157	-0,034	0,512*	-0,144	0,699*	-0,176								
Cubos de Kohs (CK)	0,127	0,363	0,023	0,410*	-0,220	0,508*	-0,202	0,475*							
Historietas (H)	0,036	0,349	0,391	0,320	0,166	0,279	-0,209	0,357	0,199						
Rompecabezas (R)	0,395(a)	0,209	-0,099	0,098	-0,144	0,216	0,283	-0,977	0,374	-0,288					
CI Escala Total Wais	0,504*	0,525*	0,469*	0,607*	0,308	0,628*	0,431(b)	0,455*	0,436 (c)	0,475*	0,376				
CIV	0,429(d)	0,528*	0,524*	0,548*	0,520*	0,459*	0,300	0,216	0,490*	0,129	0,917***				
CIM	0,504*	0,417(e)	0,229	0,549*	-0,742	0,657*	0,282	0,542*	0,738***	0,339	0,607*	0,841***	0,687*		
CI AMP (Raven)	0,054	0,366	-0,205	0,515*	-0,104	0,325	-0,627	0,351	0,404(g)	0,217	0,306	0,417(h)	0,291	0,487*	
CI Proor.	0,277	0,383(f)	0,036	0,793***	-0,150	0,808***	-0,002	0,629*	0,847***	0,313	0,302	0,654*	0,471*	0,803***	0,513*

Nota 1 : Los CI de los subtests están calculados a partir de la media del propio grupo con una media =100 y una sd =15. Para los subtests tipificados en una media =10 y sd =3. Los resultados de las correlaciones significativas están remarcados en negrita. El nivel de significación: * = $p \leq 0,05$; ** = $p \leq 0,01$; *** = $p \leq 0,000$. Los datos del nivel de significación para: (a) = $p \leq 0,085$; (b) = $p \leq 0,058$; (c) = $p \leq 0,054$; (d) = $p \leq 0,063$; (e) = $p \leq 0,067$; (f) = $p \leq 0,095$; (g) = $p \leq 0,077$; (h) = $p \leq 0,067$.

I, subtest de información.

Nota 2 : En la matriz de intercorrelaciones entre los subtests del WAIS y las AMP, podemos observar el solapamiento positivo, ya que todos los subtests del WAIS, representativos de todas las capacidades cognitivas específicas, están correlacionados con el CI Total del WAIS, a excepción de dígitos y rompecabezas.

6.4.3. Resultados de los CI para los factores del WAIS y para los factores Gc, Gf, y Gsar.

En la **tabla 6.17.** presentamos los resultados de los descriptivos para cada uno de los cuatro factores de inteligencia del WAIS para el total de la muestra (n=20). Así, el CI para el **factor de CV**, promediado desde los subtests de vocabulario, semejanzas e información, presenta un valor de media= 119.25 (sd= 6.06). Para el **factor MT** (aritmética + dígitos) tenemos una media=113.75 (sd=11.45). Para el **factor de OP** (cubos Kohs+ fig. incom+ AMP) es de media= 112.67 (sd=7.62). Los datos para el factor OP (únicamente promediado desde los subtests de cubos de Kohs y figuras incompletas) son de una media de 112.13 (sd=8.86), con unos valores mínimo y máximo de 100-132.50 respectivamente, comprendidos en un rango de 32.50. Y finalmente para el **factor de VP** (clave de números) tenemos un valor medio de CI de 123.50 (sd=10.01). En la **tabla 6.17.** también presentamos los datos relativos a valores mínimos y máximo y rango para cada factor.

En la **tabla 6.18.** presentamos los resultados de los descriptivos para los tres factores de Gf, Gc y Gsar de Cattell. Los valores para el factor de la Gf y el factor Gsar son los mismos hallados para los factores del WAIS de OP y MT respectivamente. También presentamos en la **tabla 6.18.**, los datos de combinaciones de subtests propuestas por Robinson (1998) en la identificación de los factores de Cattell.

En la identificación del factor de **la inteligencia fluida (Gf)** en nuestro estudio hemos utilizado los mismos tests que en el estudio de Robinson (1998), que son: AMP + figuras incompletas, pero hemos añadido el subtest de Cubos de Kohs para ayudar a identificar mejor la Gf. Para la identificación de la **inteligencia cristalizada (Gc)** hemos seguido la combinación de los subtests de: vocabulario + comprensión + información + semejanzas, propuesta por Flanagan *et al.* (2000). En la **tabla 6.18.**, presentamos los resultados para ésta combinación que presenta una media para la Gc de 117.06 (sd=5.62), comprendida en unos valores mínimos y máximos de 107.50-127.50 respectivamente para el total de la muestra. Para la medida de la Gc, Robinson (1998, 1999) utiliza los mismos subtests que hemos utilizado en nuestro estudio, pero permuta vocabulario por el subtest de comprensión. Mediante ésta combinación hallamos un valor medio para el **factor Gc2** (comprensión +

información + semejanzas) de 117.42 (sd=6.79), comprendido en unos valores mínimos y máximos de 106.67-126.67 respectivamente para el total de la muestra. Para identificar al factor de **memoria a corto término (Gsar)**, Robinson (1998, 1999) añade un tercer subtest de información. También presentamos los datos para el factor **Gsar 2** (aritmética+dígitos+información) del que obtenemos un valor medio de 115.22 (sd=8.32) con unos valores mínimo y máximo de 100-128.33.

Tabla 6.17.- Descriptivos del CI de los factores del WAIS (CV, MT, OP, VP) para el total de la muestra.

Factores del WAIS				
	CI	sd	rango	Valores Mín-Máx.
Totales (n=20)				
CV	119.25	6.06	21.67	110-131.67
MT	113.75	11.45	40	90-130
OP	112.67	7.62	26.67	100-126.67
VP	123.50	10.01	30	110-140

Nota tabla 6.17. : Factores del WAIS: Factor **CV** (Comprensión Verbal) formado por la media de los subtests de vocabulario, semejanzas e información; Factor **MT** (Memoria de Trabajo) es la media de los subtests de aritmética y dígitos; Factor **OP** (Organización de la Percepción) es la media de los subtests de Cubos, Fig. Incom. y las AMP; y Factor **VP** (Velocidad del Procesamiento) es el subtest de clave numérica.

Tabla 6.18.- De descriptivos de los tres factores de inteligencia Gf, Gc y Gsar. Para n=20.

Factores Gf, Gc y Gsar de Cattell				
	CI	sd	rango	Valores Mín-Máx.
Totales (n=20)				
Gf	112.67	7.62	26.67	100-126.67
Gc	117.06	5.62	20	107.50-127.50
Gsar	113.75	11.45	40	90-130

Nota de la tabla 6.18.: Para identificar al **factor Gf** utilizamos las medidas (AMP + Cubos Kohs + Figuras incompletas), para **el factor Gc** (Vocabulario + Semejanzas + Información+Comprensión), y para **Gc 2** (Comprensión + Semejanzas + Información). Para el factor **Gsar** (Aritmética + Dígitos), y el factor de memoria a corto término y recuperación **Gsar 2** (Aritmética + Dígitos + Información).

6.4. 4. Resultados de los CI para las medidas psicométricas de inteligencia general para mujeres y hombres.

En la **tabla 6.19.** presentamos los resultados de los descriptivos de las medidas psicométricas de inteligencia general o fluida para la muestra total y para el grupo de las mujeres y hombres. Para identificar el factor de **inteligencia fluida (Gf) de Cattell**, fue utilizada la misma agrupación de subtests que los utilizados para el factor **OP del WAIS**. Para ello antes, presentaremos los valores de los descriptivos para el test de **figuras incompletas**: para la muestra total, tenemos una media de 106.25 y una sd=8.56 con unos valores mínimo y máximo de 95-125 comprendidos en un rango de 30; para las mujeres, un valor de CI promedio en el test de fig. incom. de 105 y una sd= 11.55, con unos valores de 95-125 en un rango de 30; para los hombres un CI medio en el test de fig. incom. de 107.50 y una sd=6.35, con unos valores mínimo y máximo de 95-115 comprendidos en un rango de 20.

Los valores para el factor de **Gf/OP** (cubos Kohs+ fig. incom+AMP) son: para los 20 sujetos se presenta una media= 112.67 y una sd=7.62; en el grupo de las mujeres tenemos una media de 110.43 y una sd= 8.45; y en los hombres una media=114.90 y una sd=6.33. Así, las mujeres de la muestra se sitúan a 2.25 puntos por debajo de la media y los hombres a 1.57 puntos por encima de la media en el factor de OP/Gf. Los datos para el **factor OP** (únicamente desde los subtests de cubos de Kohs y figuras incompletas del WAIS) son: para los totales, una media de 112.13 y una sd=8.86, con unos valores mínimo y máximo de 100-132.50 respectivamente, que están comprendidos en un rango de 32.50; para las mujeres tenemos una media de 110 y una sd=10, con valores mínimo y máximo de 100-132.50 respectivamente comprendidos en un rango de 32.50; y en los hombres una media de 114.25 y una sd=7.46, con unos valores mínimo y máximo de 100-125. Los valores máximos de puntuaciones de CI en factor OP (solo cubos y figuras incompletas) se sitúan en el grupo de la mujeres, éstas obtienen un valor máximo de 132.50 y los hombres de 125. En el grupo de las mujeres se observa una mayor variabilidad.

Tabla 6.19.- Descriptivos de los CI de las medidas psicométricas de inteligencia general para el total y para las mujeres y los hombres.

Medidas psicométricas de inteligencia general				
	CI	sd	rango	Valores Mín-Máx.
Totales (n=20)				
Inteligencia fluida (Gf)	112.67	7.62	26.67	100-126.67
Factor Org. Percepción	112.67	7.62	26.67	100-126.67
AMP	113.75	8.59	32	95-127
Cubos Kohs	118.00	11.96	40	100-140
Mujeres (n=10)				
Inteligencia fluida (Gf)	110.43	8.45	26.67	100-126.67
Factor Org. Percepción	110.43	8.45	26.67	100-126.67
AMP	111.30	9.71	29	95-124
Cubos Kohs	115	11.55	40	100-140
Hombres (n=10)				
Inteligencia fluida (Gf)	114.90	6.33	20	105.67-125.67
Factor Org. Percepción	114.90	6.33	20	105.67-125.67
AMP	116.20	6.96	22	105-127
Cubos Kohs	121	12.20	40	100-140

Nota de la tabla 6.19.: Para identificar al **factor Gf/OP** utilizamos las medidas (AMP + Cubos Kohs + Figuras incompletas).

En la **figura 6.7.** representamos graficamente los valores de CI medio para las medidas psicométricas de inteligencia fluida (Gf), OP, AMP y cubos de Kohs.

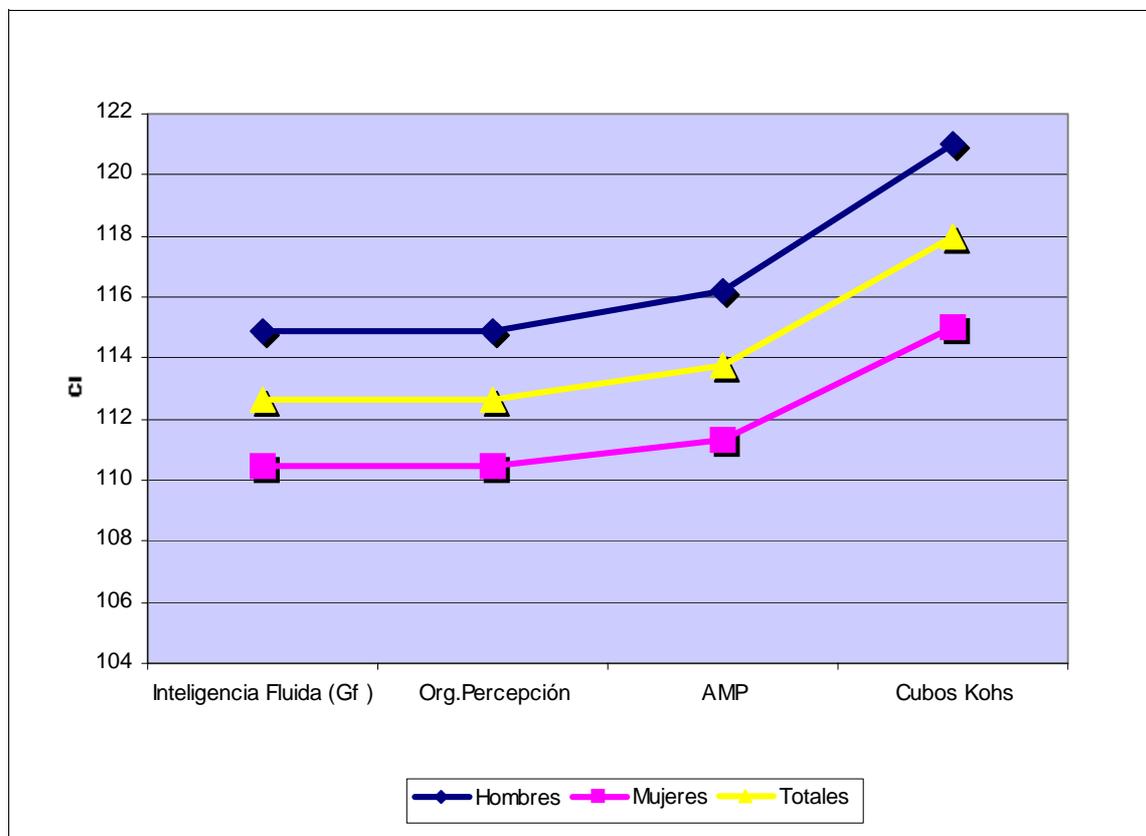


Fig. 6.7.- Valores medios de los cocientes intelectuales para las medidas de inteligencia fluida (Gf), Organización de la Percepción, AMP y Cubos de Kohs. Para los totales y el grupo de las mujeres y los hombres.

Comprobamos, mediante la aplicación del **test de Levene**, que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas para cada uno de los tests: las AMP, cubos de Kohs, figuras incompletas, y también para los factores Gf y Organización de la Percepción. Con la finalidad de comprobar si habían diferencias de sexo en medidas psicométricas de inteligencia general, aplicamos **la t de Student** (g.l.=18) con un intervalo de confianza del 95%. Así, para el subtest de figuras incompletas tenemos un valor ($t=0.64$, no significativo) con una diferencia media de 2.5 puntos; para el

subtest de Cubos de Kohs tenemos un valor ($t=1.13$, no significativo), con una diferencia media de 6 puntos. Para las AMP un valor ($t=1.30$, $p=0.211$) no significativo, con una diferencia media de 4.9 puntos. Para el factor Gf/OP un valor ($t= 1.34$, no significativo), con una diferencia de medias de 4.46 puntos.

También procedimos a aplicar un **análisis de varianza** en función de la variable sexo. En la **tabla 6.20.** presentamos los resultados de los ANOVA: para el subtest de figuras incompletas tenemos una $F = 0.4128$, no significativa; para el subtest de cubos de Kohs una $F = 1.2756$, no significativa; para las AMP un valor $F_{(1,18)}=1.6833$, $p=0.2109$, no significativo; y para el factor de Organización de la Percepción/ Gf tenemos una $F_{(1,18)}=1.7892$, $p=0.1977$, no significativo. Los resultados para el factor OP, únicamente promediado con los subtest de cubos y figuras incompletas, son de una $F_{(1,18)}= 1.1606$, no significativa. Resumiremos que los resultados de nuestro estudio indican que no hay diferencias significativas debido al efecto de la variable sexo en las medidas psicométricas de inteligencia general o fluida, y que tenemos una muestra homogénea en cuanto a ésta variable.

Tabla.6.20.- Resultados de los ANOVA para las medidas psicométricas de inteligencia general.

	F	g.l.	p
Inteligencia Fluida (Gf)	1,7892	1	0,1977
Org. Percepción (OP)	1,7892	1	0,1977
AMP	1,6833	1	0,2109
Cubos Kohs	1,2756	1	0,2735

Nota: No existen diferencias debidas a la variable sexo para las medidas psicométricas de inteligencia general o fluida.

6.5. Relaciones entre los parámetros de la VCN, el índice de la VCN neurovisual y la inteligencia psicométrica (CI).

En los apartados anteriores del presente capítulo presentamos los dos primeros bloques de análisis de datos y presentación de resultados en sus correspondientes tablas. En el primero presentamos los datos en referencia a los estadísticos descriptivos estándar de los parámetros de las variables neurofisiológicas de los VEP, de las medidas de longitud de la vía visual por RM, así como los datos para el índice VCN y las medidas psicométricas de inteligencia. En resumen, destacaremos que nuestros resultados presentan, en general, unos valores medios comprendidos dentro del rango de los valores normales en la literatura en las variables analizadas.

En un segundo bloque, con la finalidad de observar la existencia de diferencias significativas en las variables analizadas, aplicamos los análisis de varianza y comparación de medias. En los que constatamos que no hemos hallado diferencias estadísticamente significativas debido a la variable sexo para ninguno de los resultados de los parámetros latencias y amplitudes de los componentes N100 y P100 de los VEP, ni para los datos del índice de VCN neurovisual, mientras sí hemos hallado diferencias significativas para cada una de la tres medidas de la variable longitud de la vía visual por RM entre el grupo de las mujeres y los hombres. También, mediante un análisis ANOVA, la variable longitud craneoencefálica (sólo para la tercera medida de la distancia (3), No-ocp) resultó que no tenía efectos significativos en el registro de ninguno de los parámetros de latencia y amplitud de los VEP, ni para los valores del índice VCN neurovisual.

Con la finalidad de controlar la homogeneidad de la muestra en las medidas de inteligencia psicométrica general o fluida y/o para descartar que por azar hubiéramos tenido un grupo más *inteligente* que el otro, sometimos los datos a un análisis ANOVA, cuyos resultados indican que no hay diferencias significativas entre mujeres y hombres para ninguna de las medidas psicométricas de inteligencia general obtenidas por los CI del factor de inteligencia fluida (Gf), las AMP, Cubos de Kohs y el factor OP del WAIS.

En este apartado presentaremos los resultados para el tercer bloque de análisis, en el que exhibiremos los resultados del estudio correlacional para valorar el grado de la relación entre los parámetros de la VCN (medidas biológicas de los ERP y longitud por RM), el índice VCN y la inteligencia psicométrica (CI). En el estudio descriptivo integraremos todas las variables para analizar las correlaciones conjuntamente para los 20 sujetos que forman la muestra de estudio.

6.5.1. Interrelaciones entre los parámetros de los componentes de los VEP y las medidas de longitud craneoencefálica por RM.

Para tener una aproximación descriptiva de las relaciones entre los parámetros de los VEP y el parámetro distancia o longitud craneoencefálica de la vía visual, realizamos un análisis correlacional entre ambos, tal y como era nuestro objetivo descrito en el **punto B del apartado 5.2.1. de método**. En la **tabla 6.21.**, se exponen los resultados de las intercorrelaciones entre ambos parámetros utilizados ambos para el cálculo del cociente del índice de la VCN.

En primer lugar destacaremos los resultados de las correlaciones entre las latencias y las amplitudes de los componentes N100 y P100, expuestas en las **tabla 6.21.**, para los 20 sujetos. Así, tenemos que la **latencia N100** está relacionada negativamente con la amplitud del P1 y positivamente con la amplitud del N1 con una ($r=-0.385$, $p=0.094$) y una ($r=0.477$, $p=0.033$) respectivamente. La latencia del componente N100 correlaciona positivamente con la latencia del componente P100 con una ($r=0.429$, $p=0.059$). Para la **latencia P100**, no obtenemos relación con la amplitud P1 ($r=0.026$, $p=0.913$, no significativa), mientras que sí se relaciona positivamente con la amplitud N1 de ($r=0.675$, $p=0.001$) y con la diferencia de amplitud (N1-P1) ($r=0.662$, $p=0.001$). Y la **amplitud N1-P1** está positivamente relacionada con la amplitud del componente N1 mientras que no lo está con la amplitud del componente P1.

En un análisis previo, y con la finalidad de constatar la fiabilidad de las tres medidas de longitud craneoencefálica, se procedió a realizar un estudio correlacional entre ellas. También puede observarse en la misma **tabla 6.21.** que las tres medidas (Dia-Ext., Dia-Int. y No-Ocp) están positivamente intercorrelacionadas entre ellas, lo cual indica fiabilidad en la medida y dependencia entre ellas, aunque con diferente grado de intensidad. Así, podemos observar una intercorrelación fuertemente positiva

entre los dos valores (Dia-Ext., Dia-Int.) de diámetro anteroposterior externo e interno respectivamente, que se hallaron en el plano sagital por RM ($r=0.981$; $p=0.000$). En cambio, la relación aunque siendo significativa es de menor intensidad entre el valor de la medida segmentada de la vía visual (No-Ocp) (plano transversal) y las medidas externa e interna del diámetro de la cabeza ($r=0.632$, $p=0.003$), ($r=0.561$, $p=0.010$) respectivamente.

Destacar también que los resultados de la correlaciones de la **tabla 6.21.** para el total de la muestra de estudio, indican que no hemos observado un patrón de relaciones entre los parámetros latencia y amplitud de los componentes N1 y P1 de los VEP y los parámetros craneoencefálicos de la longitud de la vía visual.

Al haber diferencias, entre mujeres y hombres, en uno de los parámetros (distancia) en el que se basa el cálculo del índice VCN, analizaremos los datos de las correlaciones por separado. Así, en la **tabla 6.22.**, se exponen los resultados, separados para mujeres y hombres, en referencia a los datos de las correlaciones entre los parámetros de los componentes del patrón reverso de los VEP (latencias y amplitudes) y las tres medidas de longitud craneoencefálica de la vía visual por RM.

En la **tabla 6.22.**, podemos observar que para el grupo de las mujeres no hay relación entre ninguno de los parámetros (latencias y amplitudes) de los VEP con la longitud de la cabeza mientras que en el grupo de los hombres podemos observar una relación de dependencia entre los parámetros de la latencia N1 y la longitud del diámetro externo (Dia-Ext.) ($r=0.572$, $p=0.084$), y para la diferencia de amplitud (N1-P1) con la tercera medida de longitud de la vía visual (No-Ocp) de ($r=-0.630$, $p=0.051$) sin llegar al grado requerido de significación estadístico antes de aplicar el contraste de Bonferroni.

Tabla 6.21.- Matriz de correlaciones entre los parámetros (latencia, amplitud) de los VEP y la medida de las distancia o longitud de la cabeza. Para los totales de la muestra (n=20).

	Dia-Ext.	Dia-Int.	NO-Ocp.	Lat. N100	Lat. P100	Amp. N1-P1	Ampl. N1
Dia-Int.	0,981 <i>p=0,000</i>						
NO-Ocp.	0,632 <i>p=0,003</i>	0,561 <i>p=0,010</i>					
Lat. N100	0,087 <i>p=0,715</i>	0,110 <i>p=0,644</i>	-0,212 <i>p=0,370</i>				
Lat. P100	0,069 <i>p=0,770</i>	0,099 <i>p=0,675</i>	-0,112 <i>p=0,639</i>	0,429 <i>p=0,059</i>			
Amp. N1-P1	-0,074 <i>p=0,756</i>	-0,053 <i>p=0,825</i>	-0,298 <i>p=0,202</i>	0,224 <i>p=0,342</i>	0,662 <i>p=0,001</i>		
Ampl. N1	-0,017 <i>p=0,944</i>	-0,011 <i>p=0,963</i>	-0,257 <i>p=0,274</i>	0,477 <i>p=0,033</i>	0,675 <i>p=0,001</i>	0,817 <i>p=0,000</i>	
Ampl. P1	-0,099 <i>p=0,678</i>	-0,108 <i>p=0,649</i>	-0,121 <i>p=0,611</i>	-0,385 <i>p=0,094</i>	0,026 <i>p=0,913</i>	0,396 <i>p=0,084</i>	-0,204 <i>p=0,387</i>

Notas de la tabla 6.21.:

N1-P1: Amplitud relativa entre el N1-P1.

Nota 1: Puede observarse una intercorrelación fuertemente positiva entre los dos valores (Dia-Ext., Dia-Int.) de medidas de longitud craneoencefálicas externa e interna respectivamente que se hallaron en el plano sagital por RM ($r=0.981$; $p=0.000$). En cambio, la relación es menor entre el valor de la medida segmentada de la vía visual (No-Ocp) (plano transversal) y las medidas externa e interna de la cabeza ($r=0.632$; $p=0.003$), ($r=0.561$; $p=0.010$) respectivamente.

Nota 2: Obsérvese que no hay relación entre ninguno de los parámetros de (latencias y amplitudes) de los VEP y las medidas de longitud craneoencefálica por RM, lo que posiblemente vendría a indicar independencia entre ellos.

Nota 3: Después de corregir los resultados mediante el contraste de Bonferroni hallamos significación estadística para las relaciones entre la latencia P100 y N100; ($p<0.005$).

Resumiremos que en nuestra muestra de estudio no hemos hallado relación entre los parámetros de los VEP y las medidas de longitud craneoencefálica, para los totales (para la correlación conjunta de mujeres y hombres). Sin embargo, cuando estos datos se analizan por separado, la latencia N1 y la diferencia de amplitud N1-P1 presentan dependencia en relación a la longitud de la cabeza (para los valores Dia-Ext. y No-ocp) en el grupo de los hombres. Mientras que, en contraste, no se observó relación en el grupo de las mujeres, en el que se observó un patrón de relación similar que el obtenido para el total de la muestra.

Tabla 6.22.- De correlaciones entre los parámetros de los VEP y la longitud de la cabeza. Para las mujeres (N=10) y los hombres (N=10).

	Mujeres			Hombres		
	Dia-Ext	Dia-Int	No-op	Dia-Ext	Dia-Int	No-op
Lat. P100	0.018 <i>p</i> =0.960	0.014 <i>p</i> =0.969	-0.068 <i>p</i> =0.852	0.147 <i>p</i> =0.685	0.301 <i>p</i> =0.398	-0.387 <i>p</i> =0.269
Lat. N100	-0.132 <i>p</i> =0.717	-0.041 <i>p</i> =0.911	-0.419 <i>p</i> =0.228	0.572 <i>p</i> =0.084	0.534 <i>p</i> =0.112	-0.0271 <i>p</i> =0.941
Ampl.P1	0.258 <i>p</i> =0.472	0.236 <i>p</i> =0.512	0.147 <i>p</i> =0.686	-0.250 <i>p</i> =0.486	-0.372 <i>p</i> =0.290	-0.276 <i>p</i> =0.440
Ampl.N1	0.011 <i>p</i> =0.977	0.003 <i>p</i> =0.993	-0.118 <i>p</i> =0.745	0.278 <i>p</i> =0.437	0.385 <i>p</i> =0.272	-0.447 <i>p</i> =0.195
N1-P1	0.149 <i>p</i> =0.681	0.132 <i>p</i> =0.717	-0.008 <i>p</i> =0.982	0.119 <i>p</i> =0.743	0.153 <i>p</i> =0.674	-0.630 <i>p</i> =0.051

Notas de la tabla 6.22.:

Nota 1: Obsérvese que solo en el grupo de los hombres hallamos relación positiva entre las medidas craneoencefálicas de longitud externa Dia-Ext con la latencia N100 ($r=0.572$, $p=0.084$) y una relación inversa entre la tercera medida segmentada (No-ocp) y la diferencia de amplitud (N1-P1) ($r=-0.630$; $p=0.051$), mientras que en el grupo de las mujeres no se observa relación, un patrón similar al total de la muestra (**tabla 6.21.**).

Nota 2: Mediante la aplicación del contraste de Bonferroni se alcanza significación estadística requerida con una $p<0.005$ en ambos casos.

6.5.2. Relaciones entre los parámetros de los VEP, los parámetros de longitud y la inteligencia psicométrica (CI).

En la **tabla 6.23.**, presentamos los valores para las correlaciones entre las latencias, amplitudes y la diferencia de amplitud (N1-P1) para los componentes N100 y P100 de los VEP y la inteligencia psicométrica, tal y como nos propusimos en el **objetivo 3 y en punto C del apartado 5.2.1. de Método.**

De la **tabla 6.23.** nos interesan los patrones de correlación para las latencias N1 y P1 para el total de la muestra ($n=20$). En primer lugar destacaremos que la **latencia P100**, utilizada para determinar el **parámetro del tiempo de transmisión neural**, no se ha relacionado con ninguna de las puntuaciones de los tests psicométricos de inteligencia general o fluida (AMP, Cubos de Kohs y el factor de organización de la percepción) mientras que la latencia N100 (tiempo de transmisión sensorial inicial) se relaciona negativa o inversamente, de acuerdo con la tendencia, con el test de fig. incompletas. En general, podemos observar que no hemos hallado relación entre ninguno de los parámetros (latencias y amplitudes) de los VEP y los CI totales (WAIS y AMP) ni para el CI Verbal ni el CI Manipulativo, ni el CI prorrateado. También destacaremos que las amplitudes Amp. N1 y Amp. P1 de los componentes N1 y P1 no se correlacionaron con ninguna de las medidas de la inteligencia psicométrica (WAIS y AMP).

En la misma tabla podemos observar los datos de las correlaciones de los **subtests individuales** con los parámetros de los VEP y con las medidas de longitud por RM. Tenemos que el test de figuras incompletas está relacionado inversamente con la latencia N100 para el total de la muestra ($r=-0.404$; $p=0.077$) (sin llegar al nivel de significación requerido antes de aplicar Bonferroni), y positiva y significativamente con la tercera medida para la distancia NO-Ocp ($r=0.447$; $p=0.048$). El test de cubos de Kohs está relacionado inversamente con la diferencia de amplitud N1-P1 ($r=-0.403$; $p=0.079$) (sin llegar a la significación estadística antes de aplicar el contraste) y con la distancia No-Ocp ($r=0.499$; $p=0.025$) positiva y significativamente. Para las AMP, no hallamos relación con ninguno de los parámetros de los VEP mientras que sí hallamos que correlaciona positivamente con la media No-Ocp de longitud craneoencefálica ($r=0.472$; $p=0.052$), que fue significativa después de aplicar Bonferroni.

Los datos que presentamos en la **tabla 6.23.** son en referencia al factor de

Organización de la Percepción (OP) promediado desde los subtests de cubos, figuras incompletas y las AMP (en sustitución al subtest de matrices del WAIS III), desde esta combinación no hallamos relación con ningún parámetro de los VEP, y sí con las medidas de longitud craneoencefálica. Para la puntuación de CI del factor de organización (OP) (promediada únicamente desde los subtest del WAIS, cubos y fig. incom.), no se presenta correlación con la latencia P100 ($r=-0.251$, $p=0.285$), y sí se presenta relación inversa con la latencia N100 de ($r= -0.411$; $p=0.072$) sin llegar a la significación estadística, y también se relaciona positivamente con la distancia o longitud craneoencefálica con una ($r=0.408$, $p=0.074$) para Dia-Ext.; una ($r=0.348$, $p=0.133$) para Dia-Int.; y una ($r=0.553$, $p=0.011$) para No-Ocp.

En cuanto a las relaciones entre el **parámetro distancia o longitud y la inteligencia psicométrica**, tenemos que las tres medidas de longitud de la vía visual Dia-Ext. (d1), Dia-Int (d2) y No-ocp (d3)) exhiben correlaciones con: **el CI AMP** de ($r=0.36$, no significativa), ($r=0.31$, no significativa), y de ($r=0.47$, $p=0.036$, significativa) respectivamente; **con el CI pror.** fueron de ($r=0.366$, no significativo), ($r=0.321$, no significativo), y de ($r=0.464$, $p=0.039$, significativo) respectivamente; **con cubos** ($r=0.499$, $p=0.025$) para la d3; y con el subtest verbal de aritmética ($r=0.506$, $p=0.023$, y $r=0.508$, $p=0.022$) para las distancias 1 y 2 respectivamente. En la tabla también puede observarse que no se exhiben correlaciones entre las medidas de longitud craneoencefálica y ninguno de los CI de las escalas Verbal, Manipulativa y Total del WAIS.

En la **tabla 6.23.** puede observarse un patrón de relación sistemático, consistente, positivo y significativo entre los tres valores del parámetro distancia (Dia-ext., Dia-Int. y No-Ocp) o longitud de la cabeza y el factor de Organización de la Percepción (Cubos+ AMP + figuras incomp.) de $r=0.452$, $p=0.045$; $r=0.389$, $p=0.089$; $r=0.606$, $p=0.005$ respectivamente. En el estudio de Reed y Jensen (1992) no se halló correlación entre la medida externa de la longitud de la cabeza y las puntuaciones de CI (AMP) ($r=0.12$, $p=0.16$) en una muestra de 147 hombres. En el estudio reciente de Stelmack *et al.* (2003), realizado con una muestra de 54 mujeres, se exhiben correlaciones positivas entre la longitud de la cabeza y la inteligencia (CI). En concreto, para el CI total (MAB) de $r=0.27$, $p<0.06$; con el CI manipulativo (MAB), $r=0.31$; $p<0.05$, y con el CI Verbal (MAB) de $r=0.14$, no significativa.

En resumen, en cuanto a los **parámetros biológicos de los ERP** nuestros resultados con 20 sujetos, en general, no siguen un patrón consistente de relación

entre las medidas psicométricas de inteligencia general y el tiempo de transmisión neural medido por la latencia P100 con suficiente soporte para apoyar la hipótesis de la eficiencia neural. En cambio los resultados de la correlaciones exhiben una relación positiva entre las medidas de inteligencia psicométrica no verbal (CI) y **la longitud de la cabeza** (indicador de tamaño craneal), y esta correlación se produce especialmente para la primera y tercera medida Dia-Ext (197.91 mm) y No-Ocp (197.78 mm) que presentan una mayor distancia promedio en mm en comparación con las medida promedio del diámetro anteroposterior interno de la cabeza Dia-Int.(188.63). Es decir, la magnitud o talla de la correlación entre el índice VCN y el CI aumentaría a media que aumenta el valor promedio del parámetro distancia o longitud craneoencefálica.

Notas de la tabla 6.23:

Nota1: En general, para los 20 sujetos, no se ha hallado relación entre las medidas de inteligencia psicométrica fluida con la latencia P100 (tiempo de transmisión neural) mientras sí se halla correlación entre las medidas psicométricas y las medidas de longitud de la cabeza (indicador de tamaño cerebral).

Nota 2: Los datos que presentamos para los VEP son para el factor OP promediado desde los subtests de Cubos, figuras incompletas y AMP, con éste promedio no hallamos relación con los VEP. En cambio el factor OP (únicamente promediado desde los subtest del WAIS (Cubos + fig.incom.) presenta relación inversa con la latencia N100 (significativa después de aplicar el contraste de Bonferroni) de ($r=-0.411$; $p=0.072$) y con el parámetro distancia una $r=0.408$, $p=0.074$ para Dia-Ext.; una $r= 0.348$, $p=0.133$ para Dia-Int.; y una $r= 0.553$ $p=0.011$ para No-Ocp. Aplicando el contraste de Bonferroni obtenemos una $p< 0.005$ para los datos de las correlaciones entre el test de fig. Incom. y la lat. N100, y para el test de Cubos y la diferencia de amplitud N1-P1.

Tabla 6.23.- De relaciones entre las medidas de inteligencia psicométrica, los parámetros de los VEP y la longitud de la vía visual (distancia). Para n=20.

	V E P					Longitud (distancia)		
	Lat. N100	Lat. P100	Amp.N1-P1	Amp. N1	Amp. P1	Dia-Ext.	Dia-Int.	No-ocp.
Subtests WAIS								
Información	-0,077 <i>p=0,747</i>	0,223 <i>p=0,345</i>	0,037 <i>p=0,893</i>	NS	NS	0,293 <i>p=0,211</i>	0,335 <i>p=0,152</i>	0,151 <i>p=0,524</i>
Comprensión	-0,174 <i>p=0,464</i>	-0,009 <i>p=0,969</i>	0,123 <i>p=0,607</i>	NS	NS	0,508 <i>p=0,710</i>	-0,142 <i>p=0,552</i>	-0,134 <i>p=0,575</i>
Aritmética	0,036 <i>p=0,879</i>	0,321 <i>p=0,167</i>	0,128 <i>p=0,591</i>	NS	NS	0,506 <i>p=0,023</i>	0,508 <i>p=0,022</i>	-0,048 <i>p=0,840</i>
Semejanzas	-0,038 <i>p=0,875</i>	-0,082 <i>p=0,733</i>	-0,148 <i>p=0,534</i>	NS	NS	0,223 <i>p=0,344</i>	0,249 <i>p=0,289</i>	0,241 <i>p=0,307</i>
Dígitos	0,118 <i>p=0,619</i>	0,110 <i>p=0,643</i>	0,202 <i>p=0,394</i>	NS	NS	0,019 <i>p=0,936</i>	0,051 <i>p=0,831</i>	-0,469 <i>p=0,037</i>
Vocabulario	-0,254 <i>p=0,280</i>	-0,247 <i>p=0,294</i>	-0,319 <i>p=0,170</i>	NS	NS	0,268 <i>p=0,253</i>	0,254 <i>p=0,281</i>	0,348 <i>p=0,133</i>
Clave de Núm.	0,005 <i>p=0,983</i>	0,213 <i>p=0,368</i>	0,363 <i>p=0,116</i>	NS	NS	-0,004 <i>p=0,988</i>	0,096 <i>p=0,688</i>	-0,341 <i>p=0,141</i>
Figuras Incom.	-0,404 <i>p=0,077</i>	-0,106 <i>p=0,657</i>	-0,124 <i>p=0,602</i>	NS	NS	0,331 <i>p=0,164</i>	0,331 <i>p=0,154</i>	0,447 <i>p=0,048</i>
Cubos Kohs	-0,319 <i>p=0,169</i>	-0,297 <i>p=0,204</i>	-0,402 <i>p=0,079</i>	NS	NS	0,373 <i>p=0,105</i>	0,278 <i>p=0,235</i>	0,499 <i>p=0,025</i>
Historietas	0,060 <i>p=0,802</i>	0,298 <i>p=0,202</i>	0,185 <i>p=0,434</i>	NS	NS	0,369 <i>p=0,109</i>	0,307 <i>p=0,188</i>	0,144 <i>p=0,545</i>
Rompecabezas	-0,001 <i>p=0,996</i>	-0,102 <i>p=0,669</i>	-0,243 <i>p=0,303</i>	NS	NS	-0,072 <i>p=0,764</i>	-0,079 <i>p=0,739</i>	0,009 <i>p=0,971</i>
Escalas Total, Verbal y Manipulativa de Wechsler (WAIS)								
CI Total WAIS	-0,158 <i>p=0,505</i>	0,123 <i>p=0,605</i>	0,007 <i>p=0,977</i>	NS	NS	0,342 <i>p=0,140</i>	0,346 <i>p=0,135</i>	0,088 <i>p=0,710</i>
CIV	-0,080 <i>p=0,737</i>	0,175 <i>p=0,460</i>	0,090 <i>p=0,705</i>	NS	NS	0,325 <i>p=0,162</i>	0,341 <i>p=0,141</i>	-0,081 <i>p=0,735</i>
CIM	-0,238 <i>p=0,313</i>	-0,025 <i>p=0,914</i>	-0,138 <i>p=0,561</i>	NS	NS	0,352 <i>p=0,128</i>	0,327 <i>p=0,160</i>	0,292 <i>p=0,211</i>
CI Prorr.	-0,267 <i>p=0,267</i>	-0,263 <i>p=0,262</i>	-0,367 <i>p=0,111</i>	NS	NS	0,366 <i>p=0,112</i>	0,321 <i>p=0,168</i>	0,464 <i>p=0,039</i>
Matrices de Raven								
AMP	-0,157 <i>p=0,509</i>	-0,278 <i>p=0,235</i>	-0,137 <i>p=0,564</i>	NS	NS	0,361 <i>p=0,118</i>	0,319 <i>p=0,171</i>	0,472 <i>p=0,036</i>
Factores del WAIS								
FCV	-0,143 <i>p=0,549</i>	-0,024 <i>p=0,919</i>	-0,168 <i>p=0,478</i>	NS	NS	0,334 <i>p=0,150</i>	0,359 <i>p=0,120</i>	0,306 <i>p=0,190</i>
FMT	0,101 <i>p=0,671</i>	0,250 <i>p=0,288</i>	0,208 <i>p=0,379</i>	NS	NS	0,287 <i>p=0,220</i>	0,31 <i>p=0,183</i>	-0,349 <i>p=0,132</i>
FOP	-0,377 <i>p=0,101</i>	-0,299 <i>p=0,199</i>	-0,309 <i>p=0,185</i>	NS	NS	0,452 <i>p=0,045</i>	0,389 <i>p=0,089</i>	0,606 <i>p=0,005</i>
FVP	-0,005 <i>p=0,983</i>	0,216 <i>p=0,368</i>	0,363 <i>p=0,116</i>	NS	NS	-0,004 <i>p=0,988</i>	0,096 <i>p=0,688</i>	-0,341 <i>p=0,141</i>

6.5.3. Interrelaciones del índice de la VCN y sus parámetros.

Con la finalidad de explorar las relaciones entre el índice de la VCN y sus parámetros (los VEP y las medida de longitud) tal y como nos proponíamos en el **objetivo 3** y en el **punto D del apartado 5.2.3. de Método**, realizamos un análisis de correlaciones bivariadas, cuyos resultados se exponen en la **tabla 6.24.**, en la que presentamos los resultados para el total de la muestra, y también por separado para el grupo de las mujeres y el grupo de los hombres.

Los resultados de la **tabla 6.24.** nos indican para la muestra total (datos de los 20 sujetos en conjunto) que las correlaciones para los parámetros latencia P100, Amplitud N1 y diferencia de amplitud (N1-P1) se caracterizan por presentar un patrón uniforme de correlación significativa y negativa con cada una de las tres medidas del índice VCN neurovisual. Especialmente, los resultados para **la latencia P100** (es el parámetro tiempo) presentan un patrón de correlaciones altas, inversas y significativas con los tres valores del índice VCN de $r = -0.901$, $r = -0.906$, $r = -0.931$ (con un nivel $p = 0.000$, significativo en todos los casos) para la VCN1, VCN2 y VCN3 respectivamente. Este dato se interpretaría como que los sujetos con latencias P100 más cortas presentan valores medios más elevados en el índice de VCN neurovisual.

En la **tabla 6.24.**, también se exponen los resultados separados por sexos. Se puede observar que para el conjunto de los tres parámetros de los VEP (latencia P1, Ampl. N1 y Ampl. N1-P1), las mujeres presentan un patrón de resultados muy similar al presentado para el total de la muestra. En cambio, en el grupo de los hombres, únicamente fue el parámetro latencia P100 el que correlacionó de manera significativa y negativa con los tres valores del índice de la VCN, con un grado de correlación igual al presentado por la mujeres.

Para los totales ($n = 20$) puede observarse en la **tabla 6.24.** que **las amplitudes relativas (N1-P1)** presentan correlaciones significativamente negativas con las tres VCN1, VCN2 y VCN3 de ($r = -0.631$, $p = 0.003$), ($r = -0.632$, $p = 0.003$) y de ($r = 0.688$, $p = 0.001$) respectivamente. En la misma tabla puede observarse que la amplitud N1-P1 no está relacionada con el índice VCN en el grupo de los hombres, mientras sí se presenta relación para el grupo de las mujeres. En éstas, la diferencia de amplitud (N1-P1) se correlaciona más estrechamente con el índice VCN, presentando unos valores de ($r = -0.804$, $p = 0.005$), ($r = -0.793$, $p = 0.006$), ($r = -0.820$; $p = 0.004$) respectivamente para cada una VCN1, VCN2 y VCN3. De manera que, en relación a los resultados obtenidos para los totales, en el grupo de las mujeres se observa una

mayor *negatividad* en la correlación observada entre el parámetro amplitud relativa (N1-P1) y el índice VCN.

También en la misma **tabla 6. 24.** están expuestos los valores para las correlaciones entre las amplitudes (**Ampl. N1 y Ampl. P1**) y el **índice de la VCN** para la muestra total y separada por sexos. Para los totales (n=20) se obtuvieron relaciones negativa y significativas con unos valores para la amplitud N1 de ($r = -0.606$, $p=0.005$), ($r=-0.606$, $p=0.005$), ($r=-0.675$, $p=0.001$) para la VCN1, VCN2 y VCN3 respectivamente. En el grupo de las mujeres las relaciones entre la amplitud N1 y la VCN1, VCN2 y VCN3 fueron más negativas que para los totales y obtuvieron unos valores ($r=-0.929$, $p= 0.000$), ($r=-0.923$, $p=0.000$), ($r=-0.932$, $p= 0.000$) respectivamente. En contraste no se observó correlación para los hombres. Tampoco se observó correlación entre la amplitud P1 para ninguna de las tres medidas de la VCN ni para lo totales, ni para las mujeres y los hombres.

En cuanto a la medida de la longitud de la vía visual, al haber diferencias significativas entre los grupos de hombres y mujeres en el parámetro distancia, se analizó éste por separado. Podemos observar que solo en un caso, la medida No-Ocp se halló que estaba relacionada con la VCN3 (sin llegar al nivel de significación estadístico requerido) para el total de la muestra. Por separado vemos que en el grupo de las mujeres, el índice VCN no depende de éste parámetro (longitud craneoencefálica) y, sí en cambio, está asociada para la tercera medida (No-ocp) en el grupo de los hombres.

Tabla 6.24.- De correlaciones entre el índice VCN derivado del P100 y sus parámetros para el total de la muestra (n=20) y por separado para las mujeres (n=10) y los hombres (n=10).

	Totales (n=20)			Mujeres (n=10)			Hombres (n=10)		
	VCN 1	VCN 2	VCN 3	VCN 1	VCN 2	VCN 3	VCN 1	VCN 2	VCN 3
Longitud de la vía visual (IRM)									
Dia-Ext.	0,361 <i>p=0,118</i>	0,345 <i>p=0,136</i>	0,145 <i>p=0,542</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dia-Int.	0,320 <i>p=0,169</i>	0,322 <i>p=0,167</i>	0,089 <i>p=0,710</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
NO-Ocp.	0,369 <i>p=0,109</i>	0,335 <i>p=0,149</i>	0,456 <i>p=0,043</i>	NS	NS	NS	NS	NS	0.583 <i>p=0.077</i>
VEP									
Lat. N100	-0,387 <i>p=0,091</i>	-0,385 <i>p=0,094</i>	-0,495 <i>p=0,026</i>	-0,567 <i>p=0,088</i>	-0,534 <i>p=0,111</i>	-0,642 <i>p=0,045</i>	NS	NS	NS
Lat. P100	-0,901 <i>p=0,000</i>	-0,906 <i>p=0,000</i>	-0,931 <i>p=0,000</i>	-0,954 <i>p=0,000</i>	-0,945 <i>p=0,000</i>	-0,942 <i>p=0,000</i>	-0,940 <i>p=0,000</i>	-0,943 <i>p=0,000</i>	-0,971 <i>p=0,000</i>
N1-P1	-0,631 <i>p=0,003</i>	-0,632 <i>p=0,003</i>	-0,688 <i>p=0,001</i>	-0,804 <i>p=0,005</i>	-0,793 <i>p=0,006</i>	-0,820 <i>p=0,004</i>	NS	NS	NS
Ampl. N1	-0,606 <i>p=0,005</i>	-0,606 <i>p=0,005</i>	-0,675 <i>p=0,001</i>	-0,929 <i>p=0,005</i>	-0,923 <i>p=0,006</i>	-0,820 <i>p=0,004</i>	NS	NS	NS
Ampl. P1	NS								

Notas de la tabla 6.24.:

Nota 1: Podemos observar un patrón consistente de correlaciones negativas y significativas muy remarcables entre el índice VCN:P100 y los parámetros de los VEP para los totales, observándose el mismo patrón en el grupo de las mujeres. En éstas, la VCN parece depender más o estar más asociada a los parámetros neurofisiológicos de los VEP que en el grupo de los hombres, y en éstos solo se observan relaciones entre el índice VCN y la latencia P100, además de que la VCN3 se relaciona con el parámetro distancia No-Opc ($r=0.583$; $p=0.077$) sin llegar al nivel de significación estadístico requerido.

Nota 2: Corrigiendo los datos por el contraste estadístico de Bonferroni hallamos una $p < 0.005$.

Destacaremos que para ambos sexos la latencia P100 (tiempo de transmisión neural) está igualmente asociada con cada uno de los tres valores del índice de la VCN. En el grupo de las mujeres también se ha asociado la latencia del N100 con el índice VCN3 ($r=-0.642$; $p=0.045$) mientras que no se da esta asociación para los hombres. De igual modo, observamos un patrón de correlación entre las amplitudes (N1 y N1-P1) y el índice VCN tanto para los totales como para el grupo de las mujeres mientras que no se presenta para el grupo de los hombres.

En resumen, en el grupo de las mujeres puede observarse que el índice VCN parece depender o estar más asociado a los parámetros neurofisiológicos de los VEP (tanto latencias como amplitudes) que en el grupo de los hombres. En éstos, además, se relaciona el tercer valor del índice VCN3 con la tercera medida de la distancia o longitud de la cabeza No-Opc ($r=0.583$; $p=0.077$)-sin llegar al nivel de significación estadístico requerido-, no observándose esta relación en las mujeres.

6.5.4. Relaciones entre el índice VCN y los CI globales del WAIS de las escalas Total, Verbal, Manipulativa, el CI prorrateado y las AMP.

En la **tabla 6.25.**, se presentan los resultados de las correlaciones bivariadas de Pearson entre el índice VCN neurovisual, derivada del ERP visual P100, y los CI de las escalas Total, Verbal y Manipulativa del WAIS. También el CI prorrateado y las AMP. Destacaremos de la tabla que se obtuvo un patrón de correlación positiva y uniformemente moderada (aunque sin llegar al grado significación estadística) entre las AMP y los tres valores para el índice VCN1, VCN2 y VCN3 de ($r=0.405$, $p=0.076$), $r=0.391$, $p=0.088$) y ($r=0.395$, $p=0.085$) respectivamente. Se obtuvo un patrón de correlaciones similar entre el CI Prorrateado y los tres valores de la VCN (VCN1, VCN2 y la VCN3) de ($r=0.425$, $p=0.061$), ($r=0.408$, $p=0.074$) y ($r=0.425$, $p=0.062$) respectivamente.

Observamos pues que entre el índice de la VCN y las medidas de inteligencia psicométrica por los CI AMP y CI prorrateado WAIS presentan un patrón de relación consistente y moderada de aproximadamente $r=0.40$ (entre este tipo de variables, según Cohen (1994) se considera una significación buena de 0.45), sin llegar a la significación estadística en una muestra pequeña de sujetos ($n=20$). Aplicando la corrección de Bonferroni obtuvimos unos valores estadísticamente significativos ($p<0.005$) en ambos casos. En el estudio de Reed y Jensen (1992) hallaron un valor de ($r=0.26$, significativo) entre el CI AMP y el índice VCN derivado desde la latencia

P100. En su estudio también calcularon la correlación entre el índice VCN:N70, derivado de la latencia latencia N70 o N100, con el CI de las AMP que fue de $r=0.18$ significativa.

En segundo lugar, destacaremos que no se halló correlación entre el CI Total del WAIS (la puntuación de CI promedio de todas las capacidades cognitivas) y el índice VCN. Así mismo, tampoco encontramos correlaciones significativas entre el índice VCN y las Escalas Verbal (CIV), que reflejaría la inteligencia cristalizada (Gc) de Cattell, y la escala manipulativa (CIM) que supuestamente sería un reflejo de la inteligencia fluida (Gf).

En nuestro estudio y con el propósito de corregir el supuesto sesgo cristalizado que presentaría el CI total del WAIS, introducimos en el análisis el test de las AMP en sustitución del test de matrices de razonamiento que ha sido incluido en la versión actual del WAIS-III.

Para los 20 sujetos, los datos de los **descriptivos para el CIT WAIS 12** son de un valor de CI promedio de 114.46 y una $sd=5.30$, con unos valores mínimos y máximos alcanzados de 104.50-124.50 para el total de la muestra. Los valores de la **correlaciones entre CIT WAIS 12 y el índice VCN** fueron de: ($r=0.167$, $p=0.481$ para la VCN1), ($r=0.160$, $p=0.500$ para la VCN2) y ($r=0.026$, $p=0.913$ para la VCN3). Los resultados del análisis de las correlaciones bivariadas nos indican que no hallamos correlación entre los tres valores del índice VCN y el CI total WAIS promediado desde 12 subtests (CI de cada uno de los 11 subtest que conforman la escala total del WAIS + el CI de las AMP).

De igual modo incluimos en el análisis las AMP como una variable o subtest más de la escala no verbal para ayudar a identificar el factor Gf. Para la muestra de 20 sujetos, los datos de los **descriptivos para el CIM 6** promediado desde 6 subtests (CI de cada uno de los 5 subtests manipulativos+AMP) son de un valor de CI promedio de 116.21 con una $sd=4.83$, con unos valores mínimos y máximos de 104.75-122.42. Los resultados indican que tampoco hallamos correlación entre el **CIM6** y el índice VCN con unos valores de ($r=0.289$, $p=0.217$ para la VCN1), una ($r=0.273$, $p=0.244$ para la VCN2) y un valor ($r=0.243$, $p=0.301$ para la VCN3).

Tabla 6.25.- De correlaciones entre el índice VCN:P100 y los CI del total, CI Verbal, CI manipulativo, CI Prorrateado del WAIS y CI AMP. Para n=20.

	CI AMP	CI T. WAIS	CIV	CIM	CI pror.
VCN 1	0.405 <i>p=0.076</i>	0.048 <i>p=0.842</i>	-0.015 <i>p=0.949</i>	0.199 <i>p=0.399</i>	0.425 <i>p=0.061</i>
VCN 2	0.392 <i>p=0.088</i>	0.045 <i>p=0.849</i>	-0.012 <i>p=0.959</i>	0.186 <i>p=0.432</i>	0.408 <i>p=0.074</i>
VCN 3	0.395 <i>p=0.085</i>	-0.072 <i>p=0.763</i>	-0.192 <i>p=0.417</i>	0.153 <i>p=0.519</i>	0.425 <i>p=0.062</i>

Notas de la tabla 6.25.:

Nota 1: Se presenta un patrón de correlaciones con tendencia positiva y constante entre los tres valores del índice VCN, derivado de la latencia P100, y el CI prorrateado (la forma reducida estimativa del CI total del WAIS) y las AMP. Sin embargo, no alcanzaron el nivel de significación estadístico requerido, la $p > 0.05$ en todos los casos. Aunque mediante la reducción de la tasa nominal de error, aplicando el contraste de Bonferroni, se alcanza el grado de significación estadístico requerido de una $p < 0.005$ en ambos casos.

Nota 2: En nuestro estudio se nos incrementa la magnitud de la correlación entre el índice de la VCN:P100 y el CI (AMP) en un valor aproximadamente de $r=0.40$ comparado con el valor de correlación $r=0.26$ del estudio de Reed y Jensen (1992) sin utilizar RM.

Nota 3: No hemos hallado correlación para ninguno de los valores de las tres VCN con el CI Verbal, que mediría la inteligencia cristalizada (Gc) de Cattell, ni con el CIM o no verbal, que mediría la inteligencia fluida (Gf). Tampoco hallamos correlación para el **CIM6** promediado desde los 6 subtests (CI de cada uno de los 5 subtests manipulativos + AMP). Los valores de correlación entre el CIM 6 y la VCN fueron de: $r=0.289$, $p=0.217$ para la VCN1; una $r=0.273$, $p=0.244$ para la VCN2; y un valor $r=0.243$, $p=0.301$ para la VCN3.

Nota 4: Tampoco hallamos correlación para el CI total WAIS promediado desde 12 subtests (CI de cada uno de los 11 subtests que conforman la escala total del WAIS + el CI de las AMP). Los valores de correlación entre el **CIT WAIS 12** y la VCN fueron de: $r=0.167$, $p=0.481$ para la VCN1; de $r=0.160$, $p=0.500$ para la VCN2; y un valor $r=0.026$, $p=0.913$ para la VCN3.

En la **tabla 6.26.**, también se exponen las intercorrelaciones entre los tres

valores del índice VCN que fueron de 0.996, 0.934, 0.924 ($p < 0.000$), lo que muestra que hay una alta interdependencia entre ellos. En la misma tabla se presentan los resultados de las intercorrelaciones entre las escalas del WAIS, y destacaremos que todas ellas están positivamente relacionadas.

Tabla 6.26.- De intercorrelaciones entre los tres valores VCN y de la VCN con los CI del WAIS y de las AMP. Para n= 20.

	VCN1	VCN2	VCN3	AMP	CIV	CIM	CIWAIS
VCN2	0.996 <i>p=0.000</i>						
VCN3	0.934 <i>p=0.000</i>	0.924 <i>p=0.000</i>					
AMP	0.405 <i>p=0.076</i>	0.391 <i>p=0.088</i>	0.395 <i>p=0.085</i>				
CIV	-0.015 <i>p=0.949</i>	-0.012 <i>p=0.959</i>	-0.192 <i>p=0.417</i>	0.291 <i>p=0.213</i>			
CIM	0.199 <i>p=0.399</i>	0.186 <i>p=0.432</i>	0.153 <i>p=0.519</i>	0.487 <i>p=0.029</i>	0.587 <i>p=0.007</i>		
CIWAIS	0.046 <i>p=0.842</i>	0.045 <i>p=0.849</i>	-0.072 <i>p=0.763</i>	0.417 <i>p=0.067</i>	0.917 <i>p=0.000</i>	0.841 <i>p=0.000</i>	
CI PROR.	0.425 <i>p=0.061</i>	0.408 <i>p=0.074</i>	0.425 <i>p=0.062</i>	0.513 <i>p=0.021</i>	0.471 <i>p=0.036</i>	0.803 <i>p=0.000</i>	0.654 <i>p=0.002</i>

Notas de la tabla 6.26:

Nota 1: Los tres valores del índice de la VCN están altamente interrelacionados, lo que indicaría un fuerte grado de dependencia entre ellos.

Nota 2: El CI Total, que también está relacionado con las AMP, está más estrechamente relacionado con el CIV que con el CIM. El CI Prorrateado correlaciona más estrechamente con el CIM ($r=0.803$; $p=0.000$) que con el CI total del WAIS ($r=0.654$; $p=0.000$). Así mismo también correlaciona con la escala verbal y con las AMP.

Nota 2: Aplicando el contraste de Bonferroni se alcanza la significación estadística con una $p < 0.005$, en la correlación entre las tres VCN, las AMP y el CI prorrateado del WAIS.

En resumen, el CI Prorrateado correlaciona más estrechamente con el CIM ($r=0.803$; $p=0.000$) que con el CIV ($r=0.471$; $p=0.036$), también correlaciona con las AMP ($r=0.513$; $p=0.021$) y con el CI total del WAIS ($r=0.654$; $p=0.002$). El CI Total, que también está relacionado con las AMP, está más estrechamente relacionado con el CIV que con el CIM.

6.5.6. Relaciones entre el índice de la VCN neurovisual y las medidas psicométricas (subtests WAIS).

En la **tabla 6.27.** se presentan los resultados de las correlaciones bivariadas de Pearson entre el CI de todos los subtests del WAIS y el índice VCN. Destacaremos que ninguno de los subtests individuales de la escala verbal fue correlacionado con el índice VCN. Los subtests individuales de la escala manipulativa (clave numérica, figuras incompletas, historietas y rompecabezas) no presentaron ninguno de ellos correlación con el índice VCN, a excepción del subtest no verbal Cubos de Kohs que presenta una correlación significativa y positiva con la VCN 1 y la VCN 3 de $r=0.470$ ($p=0.036$) y $r=0.481$ ($p=0.032$) respectivamente, y de $r=0.431$ ($p=0.058$) para la VCN2. que mediante la aplicación del contraste de Bonferroni se alcanza significación estadística con una $p < 0.005$.

En la **anterior tabla 5.23.**, se exhiben los resultados de las relaciones entre las diferentes medidas de inteligencia psicométrica (CI) y los parámetros del índice VCN por separado. Así vemos que, por una parte en cuanto a los parámetros de los VEP, **cubos** de Kohs no se relaciona con la latencia P100 (tiempo) mientras que se relaciona inversamente con la amplitud N1-P1; y por otra parte cubos se relaciona positiva y significativamente con la medida de longitud de la cabeza (No-Ocp) de $r=0.499$ ($p=0.025$). En el análisis de las intercorrelaciones entre los subtests (**ver tabla 6.16.**), cubos correlaciona con las AMP ($r=0.404$; $p=0.077$) (aplicando la corrección de Bonferroni es significativa), con el CI manipulativo, con el subtest no verbal de figuras incompletas, y con los subtests verbales de semejanzas y vocabulario.

En la anterior **tabla 5.23.**, vimos que el subtest de la escala verbal de aritmética correlaciona significativamente con las medidas de longitud del diámetro externo e interno de la cabeza con una $r=0.506$ ($p=0.023$) y $r=0.508$, $p=0.022$

respectivamente, mientras que no exhibe relación con ninguno de los parámetros del patrón reverso de los VEP, ni con el índice VCN. La relación entre aritmética y la VCN es inapreciable y con tendencia (signo) opuesta a la esperada.

Anteriormente en la **tabla 6.16.**, de intercorrelaciones entre los subtests del WAIS y las AMP, observamos que el test de aritmética no se interrelaciona con las medidas de inteligencia general o fluida como las AMP o cubos, y sí se relacionaba con el CI Total, con el CI verbal y con el subtest de información. De manera que, aritmética se relaciona únicamente con tests verbales y no lo hace con tests no verbales. Finalmente el subtest de clave numérica, que mediría velocidad psicométrica, no correlaciona con el índice VCN en nuestro estudio.

Resumiremos que los resultados de las correlaciones más destacables para los 20 sujetos son: los subtests de cubos, AMP y el CI prorrateado correlacionan positivamente con el índice VCN, no correlacionan con el parámetro tiempo o la latencia P100 mientras que sí correlacionan con la longitud craneoencefálica (NO-Ocp). El subtest de aritmética no correlaciona con el índice de la VCN, (inapreciable y con tendencia opuesta de signo negativo), ni con la latencia P100, ni con ninguna de las medias de los VEP y sí correlaciona con la longitud de la cabeza. El subtest de clave numérica, que carga principalmente en el factor de Velocidad del PI, no se correlaciona con ninguno de los parámetros de los VEP, ni con las medidas de longitud, ni con el índice VCN.

Notas de la Tabla 6.27. :

Nota 1: No se observó relación entre el índice VCN y ninguno de los subtests del WAIS, a excepción del subtest individual de Cubos de Kohs de ($r=0.470$; $p=0.036$) para la VCN1, de ($r=0.431$; $p=0.058$) per la VCN2 y de ($r=0.481$; $p=0.032$) para la VCN3.

Nota 2: Obsérvese el signo de relación negativa o con tendencia opuesta a la esperada entre aritmética y el índice de la VCN.

Tabla 6.27.- De correlaciones entre la inteligencia psicométrica y el índice de la VCN neurovisual. Para n=20.

	Índice VCN neurovisual		
	VCN1	VCN2	VCN3
Medidas Cognitivas			
Información	-0,102 <i>p=0,669</i>	-0,091 <i>p=0,702</i>	-0,152 <i>p=0,521</i>
Comprensión	0,014 <i>p=0,954</i>	-0,008 <i>p=0,973</i>	-0,008 <i>p=0,973</i>
Aritmética	-0,088 <i>p=0,711</i>	-0,097 <i>p=0,685</i>	-0,317 <i>p=0,173</i>
Semejanzas	0,178 <i>p=0,453</i>	0,191 <i>p=0,421</i>	0,157 <i>p=0,509</i>
Dígitos	-0,094 <i>p=0,693</i>	-0,079 <i>p=0,742</i>	-0,294 <i>p=0,209</i>
Vocabulario	0,353 <i>p=0,127</i>	0,348 <i>p=0,132</i>	0,361 <i>p=0,117</i>
Clave de Números	-0,203 <i>p=0,390</i>	-0,162 <i>p=0,493</i>	-0,320 <i>p=0,169</i>
Figuras Incompletas	0,241 <i>p=0,306</i>	0,244 <i>p=0,300</i>	0,269 <i>p=0,250</i>
Cubos Kohs	0,470 <i>p=0,036</i>	0,431 <i>p=0,058</i>	0,481 <i>p=0,032</i>
Historietas	-0,092 <i>p=0,700</i>	-0,129 <i>p=0,587</i>	-0,197 <i>p=0,404</i>
Rompecabezas	0,070 <i>p=0,769</i>	0,069 <i>p=0,770</i>	0,101 <i>p=0,670</i>
CI Total Wais	0,048 <i>p=0,824</i>	0,045 <i>p=0,849</i>	-0,072 <i>p=0,763</i>
CI V	-0,015 <i>p=0,949</i>	-0,012 <i>p=0,959</i>	-0,192 <i>p=0,416</i>
CI M	0,199 <i>p=0,399</i>	0,186 <i>p=0,432</i>	0,153 <i>p=0,519</i>
CI Pror.	0,425 <i>p=0,061</i>	0,408 <i>p=0,074</i>	0,425 <i>p=0,062</i>
CI AMP (Raven)	0,405 <i>p=0,076</i>	0,391 <i>p=0,088</i>	0,395 <i>p=0,085</i>

6.5.6. El índice VCN neurovisual y el factor g del WAIS.

En el **punto B del apartado 5.2.4. de método** no propusimos extraer el factor g del WAIS para examinar las relaciones entre éste y el índice de la VCN mediante el método de los vectores correlacionados.

Los resultados de estos análisis están expuestos en la **tablas 6.28. y 6.29.** En la **tabla 6.28.**, se presentan los resultados de los coeficientes de correlaciones parciales entre el vector g (o el vector columna definido por las cargas jerárquicas de g) correspondientes a la columna de vectores (V_x). La variable no psicométrica X viene definida por la correlación entre cada una de las tres variables del índice VCN neurovisual y las puntuaciones de los subtests del WAIS. El factor g está representado por el factor de segundo orden calculado mediante un análisis factorial jerárquico a partir de una matriz de correlaciones del manual de TEA (ver el procedimiento seguido en **Análisis de Datos**). Los datos de la fiabilidad (r_{xx}) para cada subtests se encuentra en la última columna de la **tabla 6.28.**

La columna del Vector g del WAIS son las cargas factoriales de los subtests de factor g en la batería del WAIS. La **tabla 6.28.** muestra los datos de la estimación de las cargas de factor g en los subtests. Donde tenemos que para información es de 0.54, para comprensión de 0.54, para aritmética de 0.60, para semejanzas de 0.61, para dígitos de 0.31, para vocabulario 0.64, para clave de números, 0.41, para figuras incompletas 0.54, para cubos de 0.56, para Historietas de 0.62 y finalmente para rompecabezas de 0.41. Nótese el parecido de éstos resultados en la anterior **tabla 6.27.**, donde presentamos los resultados de la correlaciones bivariadas de Pearson entre cada uno de los subtests del WAIS y el índice VCN, con los resultados expuestos en la **tabla 6.28.** por el método de los vectores correlacionados.

El grado de relación entre éstos vectores (V_g y el vector de correlación VCN x subtests, V_x), controlada por r_{xx} , es la vía para responder a la cuestión de cuales de los subtests están más relacionados con el índice VCN. Así, destacaremos que los subtests de información, aritmética, dígitos, clave de números e historietas aparecen como negativamente influenciados por la VCN. Mientras que semejanzas, vocabulario, figuras incompletas y cubos aparecen como positivamente influenciados por la VCN. Entre éstos, los tests de vocabulario y cubos de Kohs son los que presentan mayor

relación con el índice VCN de (0.35, 0.35, 0.36) y (0.47, 0.43, 0.48) respectivamente. Clave numérica, que es de los subtest menos complejos y de más velocidad psicométrica del WAIS, no está relacionado con el indicador.

En la **tabla 6.29**. presentamos los resultados obtenidos mediante el método de los vectores correlacionados entre los tres valores de la VCN y el Vector g del WAIS (o el factor g) que fueron de 0.332, 0.225 y 0.294 no significativos, respectivamente para los tres valores de la VCN1, VCN2 y VCN3. En resumen, no hemos hallado relación significativa entre el índice VCN neurovisual y el factor g del WAIS para la muestra total ($n=20$) mediante el método de los vectores correlacionados.

Tabla 6. 28.- De coeficientes de correlaciones parciales mediante el (1) método de los vectores correlacionados entre los subtests del WAIS, el Vector g del WAIS y la VCN. Para ($n=20$)

Subtests WAIS	Vector g del WAIS	VCN1	VCN2	VCN3	r_{xx}
Información	0,54	-0,11	-0,90	-0,15	0,91
Comprensión	0,54	0,01	0,00	-0,01	0,77
Aritmética	0,60	-0,09	-0,10	-0,32	0,81
Semejanzas	0,61	0,18	0,19	0,16	0,85
Dígitos	0,31	-0,09	-0,07	-0,29	0,66
Vocabulario	0,64	0,35	0,35	0,36	0,95
Clave de Números	0,41	-0,20	-0,16	-0,32	0,85
Figuras Incompletas	0,54	0,24	0,24	0,27	0,85
Cubos Kohs	0,56	0,47	0,43	0,48	0,83
Historietas	0,62	-0,10	-0,13	-0,20	0,60
Rompecabezas	0,41	0,07	0,07	0,10	0,68

Notas de la tabla 6.28.:

Nota 1: (1) El análisis de los vectores correlacionados consiste en calcular la correlación parcial (controlando la fiabilidad de los subtests del WAIS utilizados) entre el vector columna (Vg) que representa al factor g (del WAIS) y el vector de las correlaciones (Vx) entre las tres medidas del índice VCN neurovisual y los subtests.

Nota 2 : Los subtests con cargas superiores de 0.50 están marcados en negrita. La fiabilidad de los coeficientes (r_{xx}) viene indicada por los coeficientes de correlaciones parciales entre los subtests del WAIS y el Vector g del WAIS controlada por r_{xx} . Para ($n=20$).

(1) Estudio realizado por Roberto Colom, Facultad de Psicología. UAM

Tabla 6.29.- Resultados obtenidos de las relaciones entre el índice VCN y el Vector g^* del WAIS mediante (1) el Método de los Vectores Correlacionados.

	VCN1	VCN2	VCN3
Vector g^* WAIS	0.332	0.255	0.294
	$p=0.380$	$p=0.477$	$p=0.409$

Notas de la tabla 6.29.

Nota 1: Aplicando el método de los vectores correlacionados no obtenemos relación entre las tres medidas del índice VCN y el factor g para el total la muestra de 20 sujetos. Mediante la aplicación del contraste de Bonferroni la relación no es significativa, $p>0.005$.

Nota 2: El Vector g^* representa al factor g extraído de la batería del WAIS.

(1) Estudio realizado por Roberto Colom, Facultad de Psicología. UAM (2000).

6.5.7. Relaciones entre los factores del WAIS, el factor g , los factores G_c , G_f y G_{sar} , el índice de la VCN y sus parámetros.

En la **tabla 6.30.** presentamos las relaciones entre el índice VCN y sus parámetros para las agrupaciones de los subtests en los 4 factores del WAIS, el Factor g y los factores G_f , G_c y G_{sar} de la teoría de Cattell-Horn. Para los factores de la G_f , G_c y G_{sar} presentamos los mismos resultados que para los factores FOP, FCV y FMT del WAIS respectivamente. También expondremos los resultados obtenidos para el FOP promediado utilizando solamente los subtests del WAIS (figuras incompletas + cubos). El Factor g es la variación común de los 11 subtest del WAIS que hemos correlacionado con el índice de la VCN, mediante el método de los vectores correlacionados.

De igual modo para obtener una mayor información también hemos comparado y analizado los datos mediante las combinaciones de subtests del WAIS que empleó

Robinson (1998) para identificar los factores Gc y Gsar. Así, Los datos de las correlaciones bivariadas para el total de la muestra entre la **Gc2** (comprensión + información + semejanzas) y el índice VCN fueron de: $r=0.0478$, NS para la VCN1; de $r=0.0464$, NS para la VCN 2; y de una $r=0.0004$; NS para la VCN3.

En cuanto a las **relaciones entre los factores del WAIS, las escalas del WAIS y las AMP**, tenemos que el **factor de Comprensión Verbal (FCV)** en correspondencia con la **inteligencia cristalizada (Gc)** correlaciona altamente con el CI de la escala total del WAIS, con la escala verbal (CIV), con el CIM y con el CI prorrateado ($r=0.739$, $p=0.000$), ($r=0.626$, $p=0.000$), ($r=0.723$, $p=0.000$), ($r=0.788$, $p=0.000$) respectivamente, y también en menor grado con las AMP ($r=0.384$, $p=0.095$). Destacaremos también que FCV no está relacionado con los parámetros de los VEP, ni con las medidas de la distancia o longitud, ni con el índice de la VCN neurovisual.

Tenemos que el **factor de Organización de la Percepción (OP)**, que está en correspondencia con el **factor de inteligencia fluida (Gf) de Cattell**, correlaciona con el CIM (0.772 , $p=0.000$) y con las AMP ($r=0.719$; $p=0.000$), con el CI prorrateado (0.872 , $p=0.000$) y, en menor medida, con la escala CI Total (0.556 $p<0.01$). El FOP/Gf (cubos+AMP+fig. incom) no presenta correlaciones con ninguna de las medidas de velocidad-eficiencia neural de los VEP mientras que sí está correlacionado positivamente con las tres medidas de longitud (distancia) Dia-Ext., Dia-Int., No-ocp ($r=0.452$, $p=0.045$; $r=0.389$, $p=0.089$; $r=0.606$ $p=0.005$ respectivamente. El FOP correlaciona positivamente con los tres valores del índice VCN de (0.489 , $p<0.05$) para la VCN1; ($r=0.464$, $p<0.05$) para la VCN2 ($r=0.501$, $p<0.05$) para la VCN3. Los resultados para el FOP (promediado por cubos y figuras incom.) presentan correlaciones con la latencia N100 de ($r=-0.4112$, $p=0.072$), con las medidas del diámetro externo (1) ($r=0.408$, $p=0.074$) y con la medida (3) No-ocp ($r=0.553$, $p=0.011$), y con las tres VCN1, VCN2 y VCN3 de ($r=0.434$, $p=0.056$), ($r=0.408$, $p=0.073$), ($r=0.455$, significativa con una $p<0.05$) respectivamente.

En cuanto al **factor de Memoria de Trabajo (FMT)** en correspondencia con el tercer factor de inteligencia de **Gsar (memoria a corto término) de Cattell**. Según Robinson (1998) procedimos a añadir a éste factor el subtest de información, que es particularmente un buen marcador del factor de memoria a corto término y recuperación de Cattell (Gsar2). Así, lo datos para los totales referentes a los correlaciones bivariadas entre **Gsar 2** (aritmética + dígitos + información) y la VCN son de ($r=-0.128$, $p=0.590$) para la VCN1; de ($r=-0.137$, $p=0.564$) para la VCN2; y

de ($r=-0.398$, $p=0.086$) para la VCN3. En este factor Gsar 2 se observa una relación inversa negativa (con tendencia opuesta a la esperada) y significativa, después de aplicar la corrección de Bonferroni. El FMT / Gsar se relaciona más estrechamente con la escala verbal ($r=0.716$, $p<0.000$) que con la escala total de WAIS ($r=0.466$, $p<0.000$) mientras que no se relaciona con la escala manipulativa, ni con el CI prorrateado, ni con las AMP. Finalmente **el factor de Velocidad del Procesamiento (VP)** se relaciona con la escala total ($r=0.431$; $p=0.058$) y con la escala verbal ($r=0.459$, $p<0.05$) mientras que no se relaciona con el CIM, ni con las AMP ni con el CI prorrateado. No tenemos datos para el factor *g*.

En resumen, de la **tabla 6.30.** podemos extraer que de los 4 factores analizados en los 20 sujetos, el **FCV** es el que se relaciona más estrechamente con la escala total del WAIS. Los factores **FCV y FOP** son los que se relacionan más altamente con la escala manipulativa (CIM), y el FOP presenta relaciones más estrechas con las AMP y el CI prorrateado.

En general, de los 4 factores analizados, el FOP fue el único factor que correlacionó con el índice VCN, no correlaciona con el parámetro tiempo o con las medidas biológicas de velocidad de los VEP, mientras que sí correlaciona con el parámetro distancia o con las medidas de longitud de la cabeza. El FMT/Gsar (aritmética+dígitos), que está altamente correlacionado con la escala verbal y con la escala total, no lo está con la medida del índice VCN ni con ninguno de sus parámetros. Finalmente, el factor de Velocidad de Procesamiento (VP) (clave numérica, que es una medida de velocidad psicométrica), está relacionado con la escala verbal y total, y no lo está con el resto de las escalas no verbales, AMP y CI prorrateado; tampoco se relaciona con el índice VCN, ni con ninguno de sus parámetros.

Para terminar esta exposición y con el objetivo de ofrecer un panorámica general de los datos, en la **tabla 6.31.**, presentamos una **tabla general** de los resultados de las correlaciones obtenidas entre los parámetros del índice de la VCN, el índice VCN y todas las medidas de inteligencia psicométrica estudiadas. En resumen y para finalizar, las medidas psicométricas de cubos, AMP, el factor FO/Gf y el CI prorrateado correlacionan positivamente con el índice VCN. En cuanto a la relación entre éstos tests y los parámetros de la VCN por separado, no se observa relación entre éstos tests y el parámetro tiempo de la transmisión neural, mientras sí se observan relaciones con la longitud de la cabeza o con parámetro distancia del índice VCN.

Tabla 6.30.- De correlaciones entre los subtests verbales y no verbales del WAIS agrupados por 4 factores (CV, MT, OP y VP), el Factor *g*, los factores Gc, Gf y Gsar, el índice VCN y sus parámetros. Para N=20.

Factores WAIS	SUBTESTS VERBALES		SUBTESTS NO VERBALES		Factor <i>g</i>
	FCV (Gc)	FMT (Gsar)	FOP (Gf)	FVP	
CI WAIS	0.739***	0.466**	0.556**	0.431(b)	
CIV	0.626***	0.716***	NS	0.459*	
CIM	0.723***	NS	0.772***	NS	
CIAMP	0.384 (a)	NS	0.719***	NS	
CI pro.	0.788***	NS	0.872***	NS	
VCN					
VCN1	NS	NS	0.489*	NS	NS
VCN2	NS	NS	0.464*	NS	NS
VCN3	NS	NS	0.501*	NS	NS
Latencia (tiempo)					
Lat. N100	NS	NS	NS		
Lat. P100	NS	NS	NS		
N1-P1	NS	NS	NS		
Longitud (distancia)					
Dia-Ext.	NS	NS	0.452*	NS	
Dia-Int.	NS	NS	0.389(c)	NS	
No-ocp	NS	NS	0.606**	NS	

Tabla 6.30.:

Nota 1: **FCV (Gc):** Factor Comprensión Verbal (vocabulario+semejanzas+ información); **FMT (Gsar):** Factor de Memoria de Trabajo (aritmética + dígitos); **FOP (Gf):** Factor Organización de la Percepción (cubos de Kohs+ fig. incom. + AMP); **FVP:** Factor de Velocidad del PI (clave numérica).

Nota 2: De los cuatro factores del WAIS, el factor verbal es el que correlaciona más estrechamente con la escala total del WAIS. No tenemos datos para el factor *g*.

Nota 3: El FOP / Gf correlaciona con el índice de la VCN, no correlaciona con las medidas biológicas de los VEP y sí correlaciona con las medidas de longitud. El FOP (únicamente con cubos + fig. incom.) presentan correlaciones con la latencia N100, con la medidas de longitud y con la VCN1, VCN 2 y VCN 3 de $r=0.434$; $p=0.056$, $r=0.408$; $p=0.073$, $r=0.455$ significativo con una $p<0.05$ respectivamente.

Nota 4 : * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.000$. (a) $p=0.095$; (b) $p=0.058$; (c) $p=0.089$ NS=No significativo. Aplicando la corrección de Bonferroni obtenemos una $p<0.005$ en los casos citados.

Tabla 6.31. Tabla general de correlaciones entre los parámetros de la VCN, el índice VCN y todas las medidas de inteligencia psicométrica.

	V E P (tiempo de conducción neural)					Longitud (distancia)			Índice VCN		
	Lat. N100	Lat. P100	N1-P1	Amp. N1	Amp. P1	Dia-Ext.	Dia-Int.	No-ocp.	VCN1	VCN2	VCN3
Subtests WAIS											
Información	-0,077 <i>p=0,747</i>	0,223 <i>p=0,345</i>	0,037 <i>p=0,893</i>	NS	NS	0,293 <i>p=0,211</i>	0,335 <i>p=0,152</i>	0,151 <i>p=0,524</i>	-0,102 <i>p=0,669</i>	-0,091 <i>p=0,702</i>	-0,152 <i>p=0,521</i>
Comprensión	-0,174 <i>p=0,464</i>	-0,009 <i>p=0,969</i>	0,123 <i>p=0,607</i>	NS	NS	0,508 <i>p=0,710</i>	-0,142 <i>p=0,552</i>	-0,134 <i>p=0,575</i>	0,014 <i>p=0,954</i>	-0,008 <i>p=0,973</i>	-0,008 <i>p=0,973</i>
Aritmética	0,036 <i>p=0,879</i>	0,321 <i>p=0,167</i>	0,128 <i>p=0,591</i>	NS	NS	0,506 <i>p=0,023</i>	0,508 <i>p=0,022</i>	-0,048 <i>p=0,840</i>	-0,088 <i>p=0,711</i>	-0,097 <i>p=0,685</i>	-0,317 <i>p=0,173</i>
Semejanzas	-0,038 <i>p=0,875</i>	-0,082 <i>p=0,733</i>	-0,148 <i>p=0,534</i>	NS	NS	0,223 <i>p=0,344</i>	0,249 <i>p=0,289</i>	0,241 <i>p=0,307</i>	0,178 <i>p=0,453</i>	0,191 <i>p=0,421</i>	0,157 <i>p=0,509</i>
Dígitos	0,118 <i>p=0,619</i>	0,110 <i>p=0,643</i>	0,202 <i>p=0,394</i>	NS	NS	0,019 <i>p=0,936</i>	0,051 <i>p=0,831</i>	-0,469 <i>p=0,037</i>	-0,094 <i>p=0,693</i>	-0,079 <i>p=0,742</i>	-0,294 <i>p=0,209</i>
Vocabulario	-0,254 <i>p=0,280</i>	-0,247 <i>p=0,294</i>	-0,319 <i>p=0,170</i>	NS	NS	0,268 <i>p=0,253</i>	0,254 <i>p=0,281</i>	0,348 <i>p=0,133</i>	0,353 <i>p=0,127</i>	0,348 <i>p=0,132</i>	0,361 <i>p=0,117</i>
Clave de Núm.	0,005 <i>p=0,983</i>	0,213 <i>p=0,369</i>	0,363 <i>p=0,116</i>	NS	NS	-0,004 <i>p=0,988</i>	0,096 <i>p=0,688</i>	-0,341 <i>p=0,141</i>	-0,203 <i>p=0,390</i>	-0,162 <i>p=0,493</i>	-0,320 <i>p=0,169</i>
Figuras Incom.	-0,404 <i>p=0,077</i>	-0,106 <i>p=0,657</i>	-0,124 <i>p=0,602</i>	NS	NS	0,331 <i>p=0,164</i>	0,331 <i>p=0,154</i>	0,447 <i>p=0,048</i>	0,241 <i>p=0,306</i>	0,244 <i>p=0,300</i>	0,269 <i>p=0,250</i>
Cubos Kohs	-0,319 <i>p=0,169</i>	-0,297 <i>p=0,204</i>	-0,402 <i>p=0,079</i>	NS	NS	0,373 <i>p=0,105</i>	0,278 <i>p=0,235</i>	0,499 <i>p=0,025</i>	0,470 <i>p=0,036</i>	0,431 <i>p=0,058</i>	0,481 <i>p=0,032</i>
Historietas	0,060 <i>p=0,802</i>	0,296 <i>p=0,202</i>	0,185 <i>p=0,434</i>	NS	NS	0,369 <i>p=0,109</i>	0,307 <i>p=0,188</i>	0,144 <i>p=0,545</i>	-0,092 <i>p=0,700</i>	-0,129 <i>p=0,587</i>	-0,197 <i>p=0,404</i>
Rompecabezas	-0,001 <i>p=0,996</i>	-0,102 <i>p=0,669</i>	-0,243 <i>p=0,303</i>	NS	NS	-0,072 <i>p=0,764</i>	-0,079 <i>p=0,739</i>	0,009 <i>p=0,971</i>	0,070 <i>p=0,769</i>	0,069 <i>p=0,770</i>	0,101 <i>p=0,670</i>
Escalas Total, Verbal y Manipulativa de Wechsler (WAIS)											
CI Total WAIS	-0,158 <i>p=0,505</i>	0,123 <i>p=0,605</i>	0,007 <i>p=0,977</i>	NS	NS	0,342 <i>p=0,140</i>	0,346 <i>p=0,135</i>	0,088 <i>p=0,710</i>	0,048 <i>p=0,824</i>	0,045 <i>p=0,849</i>	-0,072 <i>p=0,763</i>
QIV	-0,080 <i>p=0,737</i>	0,175 <i>p=0,460</i>	0,090 <i>p=0,705</i>	NS	NS	0,325 <i>p=0,162</i>	0,341 <i>p=0,141</i>	-0,081 <i>p=0,735</i>	-0,015 <i>p=0,949</i>	-0,012 <i>p=0,959</i>	-0,192 <i>p=0,416</i>
CI M	-0,238 <i>p=0,313</i>	-0,025 <i>p=0,914</i>	-0,138 <i>p=0,561</i>	NS	NS	0,352 <i>p=0,128</i>	0,327 <i>p=0,160</i>	0,292 <i>p=0,211</i>	0,199 <i>p=0,399</i>	0,186 <i>p=0,432</i>	0,153 <i>p=0,519</i>
CI Prorr.	-0,267 <i>p=0,267</i>	-0,263 <i>p=0,262</i>	-0,367 <i>p=0,111</i>	NS	NS	0,366 <i>p=0,112</i>	0,321 <i>p=0,168</i>	0,464 <i>p=0,039</i>	0,425 <i>p=0,061</i>	0,408 <i>p=0,074</i>	0,425 <i>p=0,062</i>
Matrices AMP Raven											
AMP	-0,157 <i>p=0,509</i>	-0,278 <i>p=0,235</i>	-0,137 <i>p=0,564</i>	NS	NS	0,361 <i>p=0,118</i>	0,319 <i>p=0,171</i>	0,472 <i>p=0,036</i>	0,405 <i>p=0,076</i>	0,391 <i>p=0,088</i>	0,395 <i>p=0,085</i>
Factores del WAIS											
FCV (Gc)	-0,143 <i>p=0,549</i>	-0,024 <i>p=0,919</i>	-0,168 <i>p=0,478</i>	NS	NS	0,334 <i>p=0,150</i>	0,359 <i>p=0,120</i>	0,306 <i>p=0,190</i>	0,162 <i>p=0,494</i>	0,172 <i>p=0,469</i>	0,132 <i>p=0,578</i>
FMT (Gsar)	0,101 <i>p=0,671</i>	0,250 <i>p=0,288</i>	0,208 <i>p=0,379</i>	NS	NS	0,287 <i>p=0,220</i>	0,31 <i>p=0,183</i>	-0,349 <i>p=0,132</i>	-0,113 <i>p=0,636</i>	-0,106 <i>p=0,655</i>	-0,374 <i>p=0,105</i>
FOP (Gf)	-0,377 <i>p=0,101</i>	-0,299 <i>p=0,199</i>	-0,309 <i>p=0,185</i>	NS	NS	0,452 <i>p=0,045</i>	0,389 <i>p=0,089</i>	0,606 <i>p=0,005</i>	0,489 <i>p=0,029</i>	0,464 <i>p=0,039</i>	0,501 <i>p=0,024</i>
FVP	-0,005 <i>p=0,983</i>	0,216 <i>p=0,368</i>	0,363 <i>p=0,116</i>	NS	NS	-0,004 <i>p=0,988</i>	0,096 <i>p=0,688</i>	-0,341 <i>p=0,141</i>	-0,203 <i>p=0,390</i>	-0,163 <i>p=0,493</i>	-0,32 <i>p=0,169</i>

VII. DISCUSIÓN

7.- DISCUSIÓN.

Antes de comenzar esta discusión queremos hacer una serie de consideraciones generales. El interés potencial de esta tesis puede estar en el hecho que aunque otros autores ya han efectuado este tipo de estudios, el nuestro se diferencia por los objetivos que pretendemos, la metodología utilizada, así como por la muestra estudiada.

En relación a las valoraciones de los resultados que efectuaremos sobre el indicador en cuestión, es importante constatar que la perspectiva reduccionista de estudio no puede ser más que biológica y funcional. La idea que subyace a nuestra hipótesis de trabajo es que las diferencias individuales en inteligencia general se explicarían, al menos en parte, por las diferencias en variabilidad en el tiempo de la transmisión neural de la información. En consecuencia, el presente estudio ha sido diseñado expresamente para contrastar esta idea y los criterios para la valoración de la relación entre la inteligencia psicométrica (CI) y el índice de la VCN y se han de realizar desde el peso de las variables biológicas de los ERP. De manera que la discusión se realizará, obviamente, bajo el razonamiento de que las correlaciones han de corresponderse con variables fisiológicas asumidas como factores asociados a la *g* de Spearman.

Desde la perspectiva de los estudios correlacionales entre la inteligencia (CI) y las medidas biológicas de los ERP, es importante constatar que en la interpretación o tratamiento teórico de los resultados no deben realizarse inferencias sobre la dirección de causalidad, sino que una interpretación concebible es que las diferencias en la actividad eléctrica pueden no ser la causa pero sí el reflejo de las diferencias individuales en la inteligencia general (Neubauer *et al.*, 1995).

También queremos dejar constancia de que somos conscientes que en la investigación del complejo fenómeno de la inteligencia no solamente deben de estudiarse los procesos biológicos o elementales, sino que es más razonable y productiva la idea de que puedan estar implicados en el análisis otros procesos cognitivos y factores como la personalidad, la motivación, las estrategias o el estado emocional etc., de los cuales se ha evidenciado sus efectos en el rendimiento cognitivo, expresado en los tests psicométricos de CI. Puesto que, para muchos autores, la inteligencia expresada depende de un compendio de variables que exceden los esquemas simples.

Finalmente, hemos de reconocer que el hecho de haber trabajado con una muestra reducida de sujetos ($n=20$) podría restar validez a los resultados, siendo su utilidad orientativa más que predictiva para las futuras investigaciones. No obstante, muchas de las investigaciones que hemos aportado en este área han sido realizadas igualmente con muestras reducidas de sujetos. En nuestro estudio, y con la finalidad

de corregir los efectos del error de muestreo, derivado de trabajar con una muestra pequeña, procedimos a corregir el nivel de significación estadístico de los resultados mediante la aplicación del contraste estadístico de Bonferroni. De todas formas señalamos la necesidad de replicar nuestros resultados con una muestra suficientemente grande, tanto combinado ambos sexos en el estudio como por separado.

El objetivo principal de esta tesis es investigar si el índice de la VCN neurovisual es válido para explorar las asociaciones entre la inteligencia psicométrica (CI) y la hipótesis de la velocidad o tiempo de transmisión neural en una muestra de estudiantes universitarios. En un análisis preliminar (Andrés y Bonastre, 1998, 1999), presentamos los datos de las correlaciones positivas entre las puntuaciones de CI (AMP) y el índice VCN neurovisual, que, en un primer momento, parecían dar soporte a la hipótesis de la eficiencia neural. Sin embargo, la comprensión de la asociación entre el indicador VCN y el CI resulta problemática, ya que no parece claro que la base de la correlación es sólo por un simple parámetro fisiológico de velocidad, sino que en el diseño del indicador en cuestión se introduce una medida de (longitud) tamaño cerebral.

Con la intención de aclarar ésta asociación nos propusimos analizar por separado los datos de las relaciones entre los parámetros del índice VCN y la inteligencia psicométrica. Y, a diferencia de los estudios que le preceden, analizaremos la implicación del índice de la VCN en varios tests psicométricos representativos de todo el rango de las capacidades cognitivas.

7.1.- Los parámetros del índice VCN, el índice VCN y la inteligencia psicométrica.

La discusión sobre los parámetros del índice VCN, el índice en cuestión y las relaciones con la inteligencia psicométrica constituyen en eje gravitatorio de esta tesis que se vertebrará en una serie de puntos donde los resultados serán resumidos y discutidos en relación a los objetivos que pretendíamos.

7.1.1.- Los parámetros latencias y amplitudes del test del patrón reverso de los VEP.

Los resultados relativos a los valores medios de las medidas de los parámetros (latencias y amplitudes) de las ondas VEP, que presentados para la muestra total, entran dentro del rango de los valores normales en la literatura (Chiappa, 1990). Concretamente, los valores promedio que presentamos para las latencias P100 y N100 son muy parecidos a los hallados en el estudio de referencia de Reed y Jensen

(1992), utilizando estímulos y protocolos similares al nuestro para la obtención de las medidas VEP, las cuales han sido obtenidas bajo las condiciones acordes con las normas establecidas para el registro de los VEP (Chiappa, 1990). En consecuencia, y además de tener en cuenta la alta estabilidad de éstos potenciales (Callaway, 1975; Regan, 1988; Rosenstein, Furman *et al.*, 1994), aunque no podemos demostrar empíricamente la fiabilidad de la medida VEP por la correlación test-retest, consideramos que nuestros datos son apropiados para realizar el estudio de las relaciones entre la hipótesis del tiempo de la transmisión neural y la inteligencia psicométrica (CI).

De manera que pasaremos directamente a discutir los datos por grupos de mujeres y hombres, en los que de igual modo puede observarse que ambos por separado presentan unos valores para la latencia P100 comprendidos dentro de los estudios normativos (Tandon y Sharma, 1989; Chiappa, 1990).

Aunque en nuestra muestra de estudio el efecto de la variable sexo en el registro de los parámetros (latencia y amplitudes) de los VEP no es significativo, observamos que las mujeres presentan una mayor amplitud relativa N1-P1 que los hombres y también se observa una latencia P100 menor; los datos para la latencia N100 son prácticamente iguales para ambos.

En el diseño de nuestra investigación se incluyeron las medidas cronométricas de velocidad, los TR y los tiempos de inspección (TI), ya que teníamos por objetivo realizar un estudio correlacional entre éstas y el índice de la velocidad de conducción nerviosa (VCN), aunque dicho estudio no podrá ser incluido en la presente tesis. En la literatura, la mayoría de los estudios muestran que los hombres presentan respuestas más rápidas que las mujeres en los TR para la medida inferencial del tiempo de la conducción nerviosa. Supuestamente, las latencias de los ERP constituirían medidas más inequívocas, directas y objetivas para la medida del tiempo de la transmisión neural que los indicadores conductuales de velocidad de rendimiento como los TR.

En la literatura revisada se observa de manera sistemática que las mujeres presentan amplitudes mayores y latencias más cortas en todas la modalidades de los ERP sensoriales (incluyendo la visual o los VEP) en comparación con los hombres (Allison, Wood y Goff, 1983; Chiappa, 1990). Entonces, ¿éstos resultados supondrían diferencias en los procesos biológicos implicados en la transducción y transmisión de la información o en la capacidad de discriminar y procesar más rápidamente estímulos simples entre mujeres y hombres?. En primer lugar, en nuestra muestra de estudio las diferencias de sexo a favor de las mujeres son reducidas y sin llegar a la significación estadística. Y en segundo lugar, las diferencias de género en el registro de la variabilidad de los VEP son atribuidas principalmente al tamaño de la cabeza

más que a diferencias biológicas entre sexos (Allison *et al.* 1983; Guthkelch, *et al.*, 1987) entre otros factores hipotetizados, que ya fueron revisados anteriormente en el capítulo 4.

Como ya indicamos, en el organismo del sujeto, cuando recibe un estímulo visual, se elicitan las ondas N100 y P100 como reflejo de sus generadores neurales. Para analizar los indicios de que las mujeres presentarían una mayor eficiencia biológica subyacente a los generadores neurales del P100, y de igual modo, poder extraer conclusiones más claras en el proceso de registro de los ERP, se necesitaría realizar medidas más precisas y exhaustivas. En las que se debería tener en cuenta la anatomía de la cabeza en la valoración exacta del efecto del tamaño de la cabeza y las distancias entre la colocación de electrodos en el registro de los ERP. Pero, al correlacionar los datos de los ERP con la anatomía de la cabeza, también ha de considerarse el problema de que los algoritmos de estimación de los orígenes neurales están basados sobre un modelo no realístico de la cabeza esférico o elíptico (Brinkmann, O'Brien, Dresner, 1998). Sin embargo, éste problema podría estudiarse actualmente con más precisión con la ayuda de los procedimientos aplicados a las nuevas tecnologías. Por ejemplo para valorar el uso de la anatomía específica de hombres y mujeres en la precisa estimación de los generadores neurales, podría procederse de un modo similar como en un estudio realizado por Brinkmann *et al.* (1998), en el que midieron y registraron las posiciones de los electrodos sobre el cráneo de los sujetos dentro del espacio en un volumen de RM de alta resolución.

Es evidente que la cuestión de este tema dista mucho de ser resuelta mediante nuestro estudio por limitaciones técnicas en cuanto a tener información anatómica y funcional en el registro de los ERP.

7.1.2.- El parámetro de longitud de la vía visual.

Presentamos unos resultados promedio para el grupo total de la muestra que entran dentro del rango normativo de la medida de longitud de la cabeza, con unos valores medios muy similares a los hallados en los estudios de Wickett, Vernon *et al.* (2000) y de Reed y Jensen (1992). En cuanto a los resultados por sexos, tal y como era de esperar, mediante los ANOVA y el test- t se constata que existen diferencias significativas entre ambos grupos (mujeres y hombres) en el parámetro distancia para cada una de las tres medidas de la longitud de la cabeza efectuadas sobre los planos sagitales y transversales del cerebro (Dia- Ext., Dia-Int., y No-ocp.). La diferencia en el promedio general de las tres medidas de longitud de la cabeza fue de 11.25 mm mayor en el grupo de los hombres que en las mujeres.

En el análisis de intercorrelaciones se observó que las tres medidas de la longitud (distancia) están positivamente relacionadas entre ellas, lo cual indica fiabilidad en la medida y un fuerte el grado de dependencia entre las medidas del diámetro

externo e interno (Dia-Ext y Dia-Int.) de la cabeza y, también, aunque en menor grado, entre éstas con la tercera medida del segmento de la vía visual (No-ocp). Lo cual significa que la tercera medida segmentada o *directa* de estimación de la longitud de la vía visual (No-ocp) por RM es una medida aproximada a la medida del diámetro externo o longitud de la cabeza, que es un indicador alternativo del volumen cerebral, ya que ambos correlacionan ($r=0.50$) (Wickett, Vernon *et al.*, 2000). De manera que el volumen cerebral puede ser inferido por la longitud de la cabeza.

7.1.3.- El índice de la VCN.

Nuestro estudio constituye una de la pocas determinaciones del índice que fue denominado velocidad de conducción nerviosa (como distinguida del tiempo de transmisión neural), que viene indicado por la longitud de la cabeza y por la latencia P100 de los potenciales evocados visuales, cuyos generadores neurales son subcorticales. El índice VCN es un simple cociente de velocidad (distancia/tiempo) que viene expresado, en metros por segundo, por la longitud de la cabeza (distancia) como una *ratio* de respuesta de latencia (tiempo).

Los resultados que hemos hallado para el índice de la VCN subcortical en una muestra de 20 sujetos, formada por 10 mujeres y 10 hombres, son de un valor medio aproximado de 2 metros por segundo (m/s) para cada una de los tres valores del índice en cuestión VCN1 (2.04 m/s), VCN2 (1.95 m/s) y VCN3 (2.04 m/s), y que están altamente intercorrelacionados entre ellos ($r=0.9$, $p=0.000$). Con éste resultado, hemos replicado los resultados de las estimaciones directas de éste índice realizadas en la vía visual (desde la latencia P100) por Reed y Jensen en 1992, en las que también obtuvieron un valor medio aproximado de 1.99 m/s en una muestra de 147 hombres. En su estudio también se incluye el cálculo de la VCN derivada de la latencia N100 (un potencial en el rango de los 75 ms) y obtuvieron un valor medio de 2.77 m/s, que fue ligeramente superior al valor medio para la VCN derivada del P100. Este dato se explica porque al ser la latencia o el tiempo (denominador) menor, el cociente de velocidad se incrementa.

Tenemos constancia de otra estimación directa medida desde el córtex temporal derecho de un paciente quirúrgico de 2.1-2.9 mm/ms (Gevins *et al.*, 1994, citado por Reed, 1998). Además de otra reciente estimación realizada por Stelmack (2003), aunque en su estudio no se informa de valor medio de la VCN en la vía auditiva.

Los resultados de los ANOVA y el test t-Student indican que no hay diferencias de sexo estadísticamente significativas para ninguno de los tres valores promedio del índice VCN neurovisual derivado de la latencia P100. Además observamos que las mujeres presentan una mayor variabilidad (evidenciado por una desviación estándar mayor), obteniendo los valores inferiores y superiores para el índice VCN neurovisual del total de la muestra. Sin embargo, aunque no se hallaron diferencias de sexo en

el parámetro tiempo o en las medidas de velocidad o de la transmisión neural por la latencia P100, sí se hallaron diferencias en el parámetro distancia. De manera que a igual velocidad de transmisión neural (t), el valor del cociente de la velocidad (v) del índice VCN (d/t) aumentaría a medida que aumenta la distancia.

7.1.4. Las medidas de inteligencia psicométrica (CI).

Los resultados obtenidos para las puntuaciones del CI de las escalas total, verbal y manipulativa del WAIS, así como el CI prorrateado, los CI para los factores de inteligencia del WAIS, los CI de los factores Gf-Gc-Gsar de Cattell y la puntuación de CI de las AMP, están comprendidos en el rango de los valores habituales. No obstante, observamos altas desviaciones estándar con respecto a la media de la población, por lo que hemos de considerar que nuestras puntuaciones de CI de las escalas del WAIS posiblemente puedan estar sobreestimadas. Este incremento puede explicarse, en parte, por el efecto de la restricción de rango (varianza), ya que la puntuación de CI depende de la varianza de las puntuaciones de cada subtests entre las personas estudiadas, que en nuestro caso son una muestra de la población de estudiantes universitarios. De manera que la puntuación de CI estará afectada por el rango (la varianza) de capacidad en la población.

Otra de las posibles explicaciones es que hemos de considerar que nuestros resultados posiblemente estarían en consistencia con la observación del efecto ambiental en el progresivo aumento en el rendimiento en los test de inteligencia psicométrica, que ha sido denominado el efecto *Flynn* (Flynn, 1987,1999). Señala Neisser *et al.* (1996) que se trata de un efecto que está muy bien documentado en todos los países. En las recientes validaciones de tests tipo WAIS se ha observado una ganancia media en el CI medio global cifrado en aproximadamente 3 puntos por década, desde las baremaciones de 1950. Aunque no se sabe con certeza a qué causas es debido, entre ellas se señalan los cambios generacionales en la cultura o los factores de la nutrición (Lynn, 1990), pero siguen sin estar bien establecidos los efectos de ésta última sobre la inteligencia (Neisser *et al.*, 1996). Señala Colom, Abad *et al.* (2000) que la ganancia encontrada ha sido mayor en tests de Gf (Flynn, 1987) que en tests de Gc, pero no está claro que el aumento en CI represente un cambio en g por sí mismo, sino que podría ser por el efecto de alguna clase de aptitud para resolver problemas nuevos (Flynn, 1987), y tampoco hay base suficiente para la interpretación genética. La cuestión sigue sin respuesta.

Los resultados de los ANOVA y las notas t de Student nos indican que no hay diferencias de sexo en medidas psicométricas de inteligencia general o fluida (AMP, Cubos de Kohs, factor Gf/ FOP), es decir, tenemos una muestra de estudio homogénea en cuanto a ésta variable. Además, éste resultado viene a sumarse a las

investigaciones psicométricas que concluyen que no existen diferencias de sexo en inteligencia general o razonamiento inductivo (Brody, 1992; Neisser *et al.*, 1996; Colom, Juan-Espinosa *et al.*, 2000; Colom y García, 2002; Jensen, 1998; Robinson, 1998, 1999; Mackintosh, 1998), sino que se han confundido e interpretado las diferencias de sexo en la ejecución de baterías de tests de medidas de capacidades cognitivas específicas como el WAIS sobre una puntuación (CI) total (interpretando la inteligencia en general) no como el constructo científico inteligencia general (*g*) (Jensen, 1998; Colom *et al.*, 2000). A lo que, además, ha de considerarse que la puntuación de CI de la escala total del Wechsler no constituye una media válida de inteligencia general (*g*) (Colom, Abad, García y Juan-Espinosa, 2000, 2002).

Otra variable que ha de tenerse en cuenta es que la escala de Wechsler presenta un profundo sesgo cristalizado (Flynn, 1999), debido al excesivo contenido de tests verbales. Un dato que podría venir avalado por nuestros resultados, puesto que en el análisis de las intercorrelaciones entre los tests del WAIS y las AMP, en general, destacamos que el CI total correlaciona más altamente con el CI verbal ($r=0.917$) que con el CI manipulativo y, lo hace en menor medida con las AMP; y de los cuatro factores de inteligencia del WAIS, el verbal es el que correlaciona más altamente con la escala total.

Comprobamos con los datos de nuestra muestra que, en general, se produce un patrón de correlación global y positiva entre todos y cada uno de los subtests del WAIS, representativos de todas las capacidades cognitivas, y el CI de la escala Total. Y que el CI prorrateado resultaría válido para estimar o predecir la escala total de WAIS, al satisfacer los criterios marcados.

7.1.5.- Las relaciones entre el índice de la VCN y sus parámetros (los VEP y el parámetro distancia por RM).

Con el propósito de examinar en nuestra muestra si tenía efecto la longitud de la cabeza en el registro de los parámetros latencia y amplitud de los VEP y en el índice de la VCN subcortical, aplicamos un ANOVA (ya que no cumplíamos las condiciones de aplicación para realizar un análisis multivariante). Los resultados para la muestra total ($n=20$ sujetos) nos indican que la tercera medida de longitud craneoencefálica de la vía visual (NO-Ocp) no tuvo efectos significativos en el registro de los parámetros de latencias y amplitud de los VEP, ni en el índice de VCN subcortical. No tenemos datos para el resto de las distancias del diámetro anteroposterior externo (Dia-Ext.) e interno (Dia-Int.) de la cabeza, ya que el computador nos canceló el análisis. Aunque estos resultados han de interpretarse con mucha prudencia, nos vendrían a indicar que la longitud de la cabeza no influye en el registro de los parámetros de los VEP en nuestro estudio. Un dato que parece

consistente con el estudio de Guthkelch *et al.* (1987) en el que no hallaron relación entre la latencia N70 (N1) y la longitud de la cabeza, lo que les sugiere que las medidas de velocidad de propagación hacia el córtex, indicada por la latencia N70 (N100), es independiente de la longitud de la cabeza (distancia nasión-inion), y suponen que la expresión de la actividad sináptica del córtex visual, representada por el complejo de onda N70/P100, tiene una forma estereotipada.

Con el mismo objetivo, también aplicamos un **análisis correlacional entre los parámetros del índice VCN** para la muestra total (n=20). Destacaremos que no hemos hallado asociación entre medidas de velocidad o tiempo de transmisión medida por los parámetros N1 y P1 de los VEP y las medidas de longitud de la cabeza. Posiblemente este resultado nos vendría indicar que son independientes y parece que es consistente con el trabajo de Egan *et al.* (1994), realizado con una muestra de 48 hombres y 2 mujeres, en el que no observó un patrón sistemático de asociación entre medidas de volumen cerebral y las medidas de velocidad de procesamiento de las ondas BAEP (N1, P2 y P3).

Sin embargo, en el análisis de los datos por separado, aunque los resultados no fueron remarcables, para el grupo de hombres se observaron relaciones inversas entre la amplitud N1-P1 y la medida (3) No-Ocp que indican que una amplitud menor está relacionada con tener una mayor longitud de la cabeza. También se observan en el grupo de los hombres relaciones positivas entre las latencias y la longitud craneoencefálica externa (Dia-Ext); así, una mayor latencia N100 está relacionada con tener una mayor longitud del diámetro de la cabeza. Un resultado en consonancia por con lo señalado Allison *et al.* (1983), y parecido al observado en el estudio de Stelmack (2003), realizado con una muestra de 54 mujeres, que observó un patrón de bajas correlaciones positivas entre las medidas de la longitud de la cabeza y las latencias de los ERP auditivos, y las relaciones con las amplitudes no fueron remarcables. En nuestro estudio, el grupo de las mujeres no se observó relación, siguiendo un patrón de relación similar que el exhibido para los totales.

Las correlaciones de signo positivo (latencia N1-Dia-Ext) vendrían a indicar bajas velocidades de transmisión para mayores longitudes de la cabeza. Un dato que parece contradecir la explicación, que ofrecen algunos investigadores, de las relaciones entre el tamaño cerebral-CI utilizando parámetros neurales, en la que argumentan que un mayor volumen cerebral capacitaría para un procesamiento neural más eficiente.

Es posible que las latencias mayores estén influenciadas por un mayor tamaño de la cabeza, puesto que en un estudio de Stockard *et al.*, 1979, citados por Guthkelch *et al.* (1987) observaron que los sujetos dentro de cada grupo de género (intragrupos) con mayores distancias inión-nasion (longitud) tendían a presentar unas latencias más largas, aunque estas diferencias tampoco fueron estadísticamente significativas.

Las discusiones sobre las diferencias de género en las variaciones de los registros de los VEP se relacionan con el hecho de que los hombres presentan en promedio un tamaño de la cabeza superior que las mujeres; y un mayor tamaño de la cabeza, según los estudios, influye en el registro de latencias más largas y amplitudes más cortas. De manera que las diferencias de género en los VEP han sido atribuidas a las diferencias en el tamaño de la cabeza por varios autores (*i.e.*, Allison *et al.*, 1983; Guthkelch *et al.* 1987; Chiappa, 1990, citado por Stelmack *et al.*, 2003). Sin embargo, mediante los ANOVA hallamos independencia entre las medidas de velocidad de los potenciales evocados VEP y las medidas de longitud para los 20 sujetos. Aunque no podemos aportar los datos intragrupo, ya que el análisis estadístico que aplicamos tampoco nos permitió tratar los datos por separado.

En cuanto a las relaciones entre el índice de la VCN y sus parámetros, en primer lugar destacaremos que para la muestra total se exhibió un patrón consistente y uniforme de correlaciones negativas y significativas entre los tres valores del índice de la VCN y los parámetros de los VEP, y especialmente fueron muy elevadas (estrechas) para la latencia P100. Lo que indicaría que los sujetos con velocidades más elevadas medidas por las latencias P1 (que eran más cortas) presentaban un valor para el índice VCN mayor. También se observaron correlaciones entre el índice VCN y la amplitud N1 y la amplitud relativa (N1-P1) de los VEP, pero no para la amplitud P1.

Debido a las consideraciones que hemos efectuado sobre el efecto de las dimensiones de la cabeza, la interpretación sobre el dato de que las amplitudes N1 y N1-P1 correlacionen inversamente con los valores del índice de la VCN (las amplitudes más negativas se asocian con VCN elevadas) resulta confusa. Puesto que, en primer lugar en la literatura de la inteligencia, el tema de la interpretación del significado funcional de las amplitudes no ha sido resuelto (Vernon, Vickett, Bazana y Stelmack, 2000). Un estudio indica que el resultado de alcanzar una *mayor negatividad* en las amplitudes se ha relacionado inversamente con CI más elevados, lo que ha sido interpretado como un signo de mayor eficiencia cerebral (Pelosi *et al.*, 1992). En otro estudio de Tan *et al.*(1993) hallan correlaciones inversas entre el CI y las amplitudes VEP. Según éstos autores, con el incremento del CI, la onda P100 de los VEP decrece, y los autores sugieren que esto puede ser debido al efecto de la atención selectiva durante el registro de los VEP. También intentan interpretar las amplitudes desde la teoría de la adaptabilidad neural, argumentando que los sujetos con un mayor CI poseen una alta adaptabilidad y entonces necesitaran menos neuronas activas y presentaran amplitudes reducidas. Aunque el modelo de Shafer se ha ido abandonando por dificultades de interpretación (Vernon, *et al.*, 2000).

Éste mismo patrón de relación que hemos descrito para los totales, se presentó

en el grupo de las mujeres, pero con correlaciones más estrechas o elevadas entre los parámetros VEP y el índice VCN. De manera que en el grupo de las mujeres, parece ser que el índice VCN depende más o está más asociada a los parámetros neurofisiológicos de los VEP que en el grupo de los hombres. En éstos únicamente se observan relaciones entre el índice VCN y la latencia P100, además de exhibir relación entre el valor VCN3 y el parámetro distancia No-Opc.

Resumimos que la latencia P100 (tiempo de transmisión neural) se ha relacionado con el valor del índice VCN en ambos sexos, mientras que una de las medidas del parámetro distancia (NO-Opc) se ha relacionado con el índice VCN solamente en el grupo de los hombres, y en las mujeres no se ha observado esta relación. En las mujeres, el índice VCN además ha sido asociado negativamente con las amplitudes y ésta asociación no se produce en el grupo de los hombres.

Un dato que debe tenerse en cuenta al efectuar las valoraciones es que, según los estudios (*i.e.*, Allison *et al.*, 1983; Guthkelch *et al.*, 1987), el tamaño de la cabeza puede influir en el registro de las amplitudes, de manera que con un menor tamaño se registrarán amplitudes más grandes y latencias más cortas. Así, en la medida de que existen relaciones entre las dimensiones de la cabeza y el registro de los parámetros de los VEP, la interpretación de los resultados de la relación entre un índice VCN elevada asociada con amplitudes más negativas en el grupo de las mujeres es confusa. Y posiblemente dicha asociación estaría relacionada con el hecho de que las mujeres presentan amplitudes mayores que los hombres, aunque tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas en nuestro estudio.

7.1.6. Las hipótesis del tiempo (velocidad) de la transmisión neural: los VEP, la longitud de la cabeza, el índice VCN y la inteligencia psicométrica CI.

Uno de los objetivos de trabajo es aportar evidencias que nos permitan explicar, en parte, las asociación entre las diferencias individuales en inteligencia psicométrica y las diferencias individuales en la capacidad de discriminación sensorial (visual) medida por los parámetros fisiológicos de los potenciales evocados visuales (VEP) a partir de **la hipótesis del tiempo de la transmisión neural**, que predice que la inteligencia general estará asociada con latencias cortas y amplitudes grandes de los ERP sensoriales y con velocidades de conducción neural más rápidas o elevadas (Stelmack *et al.*, 2003).

Nos propusimos aplicar el test del patrón reverso para obtener las medidas de los parámetros de las ondas de los potenciales evocados visuales (VEP), por lo que antes vamos a analizar una serie de aspectos relacionados con la medida de la variación individual de la respuesta cerebral a un estímulo simple, considerando la gran dependencia que tienen los componentes exógenos VEP de las características físicas

de los estímulos.

En la revisión de la literatura que efectuamos, ya indicamos que en los trabajos iniciales, la elicitación de la latencia de las ondas de los ERP sensoriales (en el rango de los 100 ms) se derivaba de la presentación repetitiva de simples estímulos visuales (flashes de luz). Así, las revisiones efectuadas concluyen que los datos de soporte para la hipótesis de la eficiencia neural, derivados de éstos procedimientos para elicitar la latencia, no son fiables (Deary y Caryl, 1993; Stelmack *et al.* 1995). Ya que la latencia obtenida está principalmente influenciada por las características físicas del estímulo (*i.e.*, intensidad, frecuencia, *ratio* de presentación). Por ejemplo, con los incrementos en la intensidad de estimulación se elicitan ondas ERP con latencias cortas y amplitudes grandes que quizás están exclusivamente influenciadas por las características físicas de los estímulos (Stelmack *et al.*, 2003), es decir son sensitivas a los cambios en la intensidad de estimulación. De manera que estos autores vienen a argumentar que el significado funcional de la ésta latencia no sería congruente con la ejecución de la función de discriminación sensorial que varía con las medidas de inteligencia psicométrica (Stelmack y Houlihan, 1995).

De otro modo, utilizando el análisis de la latencia P100 de los VEP, producido mediante el promediado electrónico del patrón reverso, varios estudios encuentran una pequeña relación inversa entre las latencias cortas de la onda positiva P100 de los VEP y la inteligencia (CI) alta (Reed y Jensen, 1992; Tan *et al.*, 1993; Burns, Nettelbeck y Cooper, 2000), porque- según Stelmack *et al.* (2003)- hay cambios mínimos en el nivel de luz del patrón reverso y el estímulo efectivo es la frecuencia espacial (Stelmack *et al.*, 2003). De manera que con éste procedimiento, parece ser que se apoyaría la idea de que el significado funcional de las ondas VEP es congruente con las funciones valoradas por la discriminación sensorial en el test del patrón reverso. Es decir, mediante la medida, por las latencias y amplitudes VEP, de las diferencias individuales en la capacidad de discriminación sensorial que varía con las diferencias individuales en los umbrales sensoriales (Chiappa, 1990).

Con respecto a ésta cuestión-señala Stelmack *et al.* (2003)- es importante considerar que, desde la posición teórica de Galton, en éstos estudios se requiere realizar discriminaciones entre estímulos en la determinación de los umbrales sensoriales (*i.e.*, tamaño, frecuencia tonal e intensidad de la luz) más que meras reacciones a la estimulación simple (*i.e.*, umbrales absolutos etc.). Sin embargo, no hay estudios que valoren la asociación entre la inteligencia psicométrica y las diferencias individuales en medidas fisiológicas de reacción a la intensidad de los estímulos (*i.e.*, umbrales sensoriales absolutos, umbrales de ruido, umbrales de dolor, estimaciones de la magnitud sensorial). Desde ésta perspectiva- señala Stelmack *et al.* (2003)- no hay convergencia entre el significado funcional de la latencia o amplitud

de cada onda de los ERP y las funciones valoradas por la discriminación sensorial que varían con las medidas de inteligencia psicométrica.

Hemos encontrado un trabajo realizado para valorar el efectos de las diferentes intensidades de estimulación en el registro de los VEP y su asociación con la inteligencia (CI) que fue realizado por Cosculluela (1990). Procedió a aplicar diferentes intensidades de estimulación, que venían determinadas por la variación en el número de cuadros del patrón reverso, y clasificó a los sujetos (niños y niñas) dicotomizados en dos grupos, los de alta inteligencia (CI >100) y los de baja inteligencia (CI < 100) medida por el test de Gf de Cattell. Según éste autor, sus resultados indicarían que la latencia P100 VEP está en función de la intensidad de estimulación, a mayor intensidad mayor latencia P1; y la amplitud aumenta hasta una determinada intensidad, a partir de la cual la amplitud disminuye (p. 183); un resultado que también se observa en la modalidad auditiva con los BAEP; así, con el aumento de la intensidad (50, 75, 100 dB), las latencias y amplitudes aumentan. Sin embargo, utilizando estímulos y protocolos similares, Stelmack *et al.* (2003) halló que con el incremento de la intensidad a través de los niveles de estimulación (72, 80, 88 dB), las latencias BAEP disminuyen y la amplitud aumenta.

Cosculluela (1990), mediante un análisis de comparación de medias, no halló diferencias en función del grupo de alta o baja inteligencia (CI) y los parámetros latencia y amplitud de los VEP y BAEP en ninguna de las intensidades de estimulación testadas. Así, sus resultados no dan soporte a la hipótesis del tiempo de transmisión neural, señalando *que ...la inteligencia no parece estar relacionada con una mayor o menor responsividad cerebral a una simple estimulación* (p.196). A pesar de que su estudio se realizó bajo unas características de registro bastante amplias (tanto por la colocación de diversos electrodos, como por el registro por diferentes canales, como por la utilización de dos modalidades sensoriales (visual, VEP y auditiva, BAEP) y de diversas intensidades de estimulación).

En la modalidad de los ERP auditivos o BAEP, otro estudio realizado en la línea de las diferencias individuales que no da soporte la hipótesis de la eficiencia neural es el de Stelmack *et al.* (2003), en el que utilizan una nueva aproximación para examinar la hipótesis del tiempo de la transmisión neural mediante la utilización de la latencia interpico IPL para la medida del índice del tiempo de la transmisión neural. Argumentando que con el incremento de la intensidad de la estimulación, la latencia disminuye y la amplitud aumenta porque la disminución de la latencia pico con el incremento de la intensidad es de la misma magnitud para cada onda de los ERP. De modo que la computación de la latencia interpico (IPL) de los BAEP, entre las diferentes ondas (entre la onda I y la III, entre ésta y la V, y entre la I y la V), es esencialmente constante a través de los diferentes niveles de intensidad de

estimulación y sería una medida relativamente independiente de la intensidad de los estímulos. Aunque los resultados indicaban que la IPL también presentó pequeños cambios en la latencia debidos al incremento de la intensidad de estimulación.

Los resultados de estudio de Stelmack *et al.* (2003), realizado con una muestra de 54 mujeres, mostraban una correlación positiva (con tendencia opuesta a la esperada) entre las latencias IPL largas de los BAEP y las puntuaciones de CI total medido por el MAB, que indicaban bajas velocidades para CI altos. Concluyen que los resultados de los BAEP no dan soporte a la hipótesis del tiempo rápido de la transmisión neural y que ésta conclusión permite razonablemente señalar que el significado funcional de las ondas BAEP no sería congruente con las funciones valoradas por el rendimiento en los test de discriminación sensorial que varían con las medidas de inteligencia psicométrica (Stelmack *et al.*, 2003).

Nuestra investigación está enfocada al estudio de los componentes sensoriales del complejo de onda VEP, y por lo tanto, nuestro análisis se centra a nivel del input sensorial, en el nivel más reductivo del *continuum* del procesamiento de la información. Funcionalmente cada onda VEP, que es una señal de activación cortical promediada sobre los 250 ms siguientes a la estimulación visual por el patrón reverso, recoge la activación aferente que ocurre en el nivel más elemental de tratamiento de la información visual donde se produce el procesamiento sensorial. El registro de la respuestas neurales del P100 a los estímulos visuales simples depende de la actividad cortical del córtex visual primario (CVP). Recientemente se ha evidenciado que ésta actividad neuronal del CVP en el procesamiento visual de la información viene modulada por el córtex prefrontal (Barceló *et al.*, 2000), y éste ha sido postulado como el asiento neurológico de la inteligencia general (Duncan *et al.*, 2000; Thompson *et al.*, 2001, Gray y Thompson, 2004).

La idea, desde la perspectiva neurofisiológica o sensorial de los ERP, es la implicación de la velocidad-eficiencia neural en los test cognitivos. Para la medida de ésta velocidad, utilizamos la latencia del P100 puesto que tendría un significado funcional más claro en comparación con la latencia del P300. El componente exógeno P100 refleja un mecanismo de procesamiento sensorial básico subyacente a la percepción de la luz acromática (Mayurtina, 1994), y supuestamente la latencia del P1 sólo reflejaría el tiempo de los procesos neurales básicos. Por lo tanto, la interpretación de la latencia P100 resultaría menos inequívoca en comparación con la latencia del ERP P300, que es un componente endógeno que indicaría el tiempo o la velocidad que consumen los procesos psicológicos intrínsecos. De manera que éste (P3), en comparación con el P100, requiere mucha más interpretación, tanto con respecto a los procesos neurales que lo generan como por los procesos cognitivos que indiza.

En general, los resultados de nuestro estudio en la línea de las diferencias

individuales, realizado con una muestra de 20 sujetos, no exhiben un patrón de asociación sistemático entre las medidas electrofisiológicas de velocidad (latencia y amplitudes VEP) y el CI de las AMP, ni con ninguna de las puntuaciones de los CI de las escalas del WAIS. En concreto, destacaremos que el parámetro tiempo de transmisión neural, medido por la latencia P100, no se ha relacionado inversamente con ninguna de las medidas de inteligencia general/razonamiento (*i.e.*, AMP, cubos de Kohs, FO/Gf). De los VEP, solamente la latencia N100 (que mediría el tiempo de transmisión sensorial inicial en el rango de los 75 ms) estuvo asociada inversamente con la variación de las medidas en los tests de figuras incompletas y con el factor OP; y la amplitud N1-P1 (indicativa de la cantidad de información procesada por el sujeto durante el tiempo del PI) con cubos de Kohs. Por lo que sería conveniente explorar la relación con los datos del indicador VCN derivado de la latencia N100.

En cuanto al test de aritmética, que carga en el factor de memoria de trabajo del WAIS, en el análisis de las intercorrelaciones observamos que se relaciona únicamente con tests verbales mientras que no lo hace con tests no verbales de razonamiento fluido. Aritmética, destaca por presentar correlaciones moderadas con las medidas de longitud de la cabeza (Dia-Int. y Dia-Ext.), y por no presentar relación con ninguno de los parámetros latencia y amplitudes de los (N1, P1) VEP. De igual modo, presenta una relación inapreciable, no significativa y negativa (con tendencia opuesta a la esperada) con el índice de la VCN neurovisual.

Desde el enfoque cognitivo, en un estudio se registraron los ERP (N1, P1, N2) al mismo tiempo que se examinaba el efecto de la dificultad de un problema de aritmética mental (las tareas complejas incluyen identificar números, realizar cálculos matemáticos y memorizar los resultados) (*i.e.* Kong *et al.*, 1999). Iguchi *et al.* (2000) intentaron delimitar un hipotético complejo de procesamiento secuencial de los estadios de aritmética mental representados en las porciones de las ondas de los componentes ERP cognitivos (N120-P180-N220), que estarían asociadas a procesos como la memoria de trabajo.

Mientras que en nuestro estudio, desde el enfoque sensorial de los ERP, no hemos observado implicación de los procesos biológicos básicos de eficiencia neural en los tests de aritmética y en el factor de memoria de trabajo del WAIS/Gsar. La idea implicada en la discusión es que el concepto de la inteligencia general estará asociado a variables fisiológicas (velocidad). Éstas pueden correlacionarse con los tests no verbales, que serían mejores medidas de inteligencia general que los tests verbales; éstos serían mejores medidas del nivel intelectual o de la *inteligencia en general*. En consecuencia, el test verbal de aritmética, cuyo contenido subrepresenta al razonamiento cuantitativo (Flanagan *et al.*, 2000), podría tener un mayor valor predictivo en referencia a los aprendizajes escolares. Y también es posible que éste tipo de tests tengan un mayor significado en el dominio psicológico. De igual modo,

no se observaron relaciones entre las medidas biológicas de los VEP y el subtest de claves o con el factor de velocidad del PI (FVP) del WAIS, que son medidas de velocidad psicométrica. Lo que posiblemente indicaría, tal y como señala Jensen (1998), que no se está midiendo la misma *velocidad* que se mide con los VEP.

Para finalizar, ya indicamos que no hallamos correlación inversa entre la latencia P1 y las medidas psicométricas de inteligencia fluida, mientras que los estudios de Reed y Jensen (1992) y los de Tan *et al.* (1993) sí hallan relaciones entre estas variables, utilizando procedimientos similares al nuestro. A todo ello, cabe apuntar la observación de que quizás la ausencia de correlación esté relacionada con el hecho de trabajar con una muestra pequeña de sujetos. Una observación que también ha sido realizada por algunos autores para explicar sus resultados (*i.e.* Egan *et al.*, 1994). Pero también observan que muchos de los estudios en este área han sido realizados con muestras reducidas, puesto que hemos empleado tests cognitivos y paradigmas como el patrón reverso de los VEP que son estándar.

Aunque cabe señalar que, en general, los resultados en la literatura de las relaciones ERP-CI se caracterizan por presentar un gran variabilidad, y los efectos de la correlación entre los ERP y la inteligencia psicométrica están pobremente establecidos (Deary, 2000a). Los autores Tan *et al.* (1993) sugieren que las inconsistencias podrían ser explicadas por diferencias en la lateralización cerebral. En la revisión de la literatura (ver cap. 4 apartado 3.2.) aportamos varios estudios que sugieren asimetrías en el índice del tiempo de la transmisión interhemisférica (IHTT), medido por la latencia VEP (Brown *et al.*, 1993). Por lo que sería conveniente tener en cuenta estos efectos observados en el diseño de futuras investigaciones.

No obstante a la observación que apuntamos para explicar la ausencia de relación por el hecho de trabajar con una muestra pequeña, sí se observaron correlaciones en nuestra muestra ($n=20$) entre el índice de la VCN y las medidas psicométricas de inteligencia no verbal (Cubos, Gf/FOP, AMP) y con el CI prorrateado; pero no se observó correlación entre el índice VCN con el CI Total del WAIS. Este resultado podría interpretarse de varias formas: una de ellas es que lo que correlacionamos es la puntuación del CI de la escala total del WAIS y, según las recientes investigaciones, ésta no es una medida aproximada de factor *g* (Colom, Abad *et al.*, 2000, 2002).

De manera que procedimos a **extraer el factor *g* del WAIS** para estudiar su asociación con el índice VCN mediante el **método de los vectores correlacionados**. Los análisis resultantes tampoco revelan correlaciones significativas entre el factor *g* (la variación común de los 11 subtests del WAIS) y el índice VCN. Este resultado se interpreta como que el índice VCN no explicaría las diferencias observadas en el factor *g*. Ya que no hubo correlación entre el vector *g* (factor *g*) y el vector de las correlaciones V_x entre las medidas de la VCN y los

subtests. Entonces si no hay correlación entre los éstos dos vectores, las diferencias en el g psicométrico no pueden ser atribuidas al índice de la velocidad de conducción nerviosa (variable no psicométrica).

Éstos resultados también podrían estar relacionados, al menos en parte, con los posibles efectos de la restricción de rango en el análisis que efectuamos para *aislar* el factor g del WAIS. Puesto que el factor g extraído de una batería depende del efecto de la restricción de rango, ya que el tamaño de la correlaciones del test está afectado por el rango (la varianza) de capacidad en la población y, en consecuencia, el tamaño o talla de factor g también lo estará (Colom, Abad *et al.*, 2000); otra posible fuente de variación puede ser debida al excesivo contenido de tests verbales del WAIS, de manera que el factor g obtenido puede estar afectado por un sesgo de g cristalizado. Un dato que vendría avalado por nuestros resultados.

A todo ello, Jensen (1998) y Colom, Abad *et al.* (2000, 2002) señalan que las puntuaciones de factor g extraído de una batería de tests (*i.e.*, WAIS) posiblemente no constituirían una medida pura de g . Sinó que la puntuación de factor g está contaminada por las cargas de otros factores o capacidades específicas. Una puntuación individual de factor g está calculada desde las puntuaciones individuales estandarizadas de cada uno de los subtests. De manera que éstas puntuaciones vienen contaminadas por otros factores (o tests específicos), los cuales producen incrementos o decrecimientos en las diferencias medias, dependiendo de los tipos de subtests incluidos en la batería desde la cual se extrae al factor g (Colom, Abad *et al.*, 2000, 2002)

Finalmente, señalaremos que en nuestro análisis el factor g fue derivado de las matrices de correlaciones de TEA, no de una matriz propia generada con nuestros datos, ya que teníamos una muestra pequeña. De este modo sería interesante repetir el estudio con la finalidad de extraer el factor g desde una muestra experimental suficientemente grande.

En cuanto al objetivo de **investigar las asociación de los parámetros de la VCN (tiempo y distancia) por separado con la inteligencia psicométrica** tenemos que: por una parte, y como ya mencionamos, los resultados en cuanto a los parámetros biológicos de los ERP, en general, no siguen un patrón consistente de asociación entre el tiempo de transmisión neural, medido por la latencia P100, y las medidas psicométricas de inteligencia fluida (no verbal); éste resultado no daría soporte a la hipótesis del tiempo de la transmisión neural. Por la otra parte, en cambio, para el parámetro distancia se exhibe una relación positiva entre las medidas de inteligencia psicométrica y la longitud de la cabeza (indicador de tamaño cerebral). Específicamente, en nuestro estudio hallamos que el **parámetro distancia o longitud** de la cabeza correlacionaba con las medidas de inteligencia verbal

(aritmética) y con las medidas de inteligencia no verbal (AMP, cubos de Kohs y el factor OP /Gf) y con el CI prorrateado. Éstos resultados mientras que no son consistentes con los del estudio de la VCN de Reed y Jensen (1992) en el que no hallaron asociación entre el parámetro distancia o longitud de la cabeza y el CI (AMP), sí son consistentes con los de Stelmack *et al.* (2003) al exhibir un patrón de correlaciones positivas entre la distancia (longitud de la cabeza) con el CI total (MAB) de $r=0.27$, $p<0.06$; con el CI manipulativo (MAB), $r=0.31$; $p<0.05$, y con el CI Verbal (MAB) de $r=0.14$, no significativa; mientras que la anchura de la cabeza no fue correlacionada con el CI.

Podemos decir que nuestros resultados son consistentes con los trabajos de la literatura que hallan una relación sistemática entre varias medias de tamaño cerebral (longitud, perímetro, volumen etc.) y las puntuaciones de CI (*i.e.*, Vickett *et al.* 2000). Y, por lo tanto, concluimos que nuestros resultados presentan la tendencia general de asociación entre las medidas de tamaño cerebral y las puntuaciones de CI. A pesar de que en la literatura la correlación entre las puntuaciones de CI y el índice de volumen cerebral es una de las mejor establecidas, se considera que dicho índice es una medida pobre e imprecisa para la medida de la inteligencia (CI) (Deary, 2000a); y no se sabe a qué puede atribuirse el significado de ésta relación, que permanece sin resolución en la literatura (Vernon, Vickett, Bazana y Stelmack, 2000).

Resumiremos que nuestros resultados para el **índice de la VCN neurovisual** exhiben una patrón consistente de correlaciones positivas y significativas (después de aplicar Bonferroni) con las medidas de inteligencia psicométrica no verbal (AMP, Cubos y el factor OP/Gf) y con el CI prorrateado. Un resultado que concuerda con el estudio de Reed y Jensen (1992) en el que hallaron una correlación positiva entre la VCN neurovisual y el CI (AMP) de $r=0.26$. Mientras que en la modalidad auditiva (BAEP), Stelmack *et al.* (2003) halló que la VCN en la vía auditiva se relacionaba inversamente (con tendencia opuesta a la esperada) con el CI verbal (CIV MAB); éste resultado indicaría que VCN lentas están asociadas con puntuaciones altas en inteligencia cristalizada.

Sin embargo, en nuestro análisis correlacional por separado entre las medidas psicométricas de inteligencia general y los parámetros del índice VCN tenemos que: mientras que no se observa relación entre las medidas psicométricas de inteligencia fluida con el parámetro tiempo o velocidad de transmisión neural medida por la latencia P100 de los VEP, sí se observa que las medidas de inteligencia psicométrica (CI)(FOP/Gf) están relacionadas con las medidas de longitud de la cabeza (indicador de volumen cerebral) o con el parámetro distancia del índice VCN.

En particular, la correlación entre la inteligencia (CI) y las medidas del cociente de la VCN se produce especialmente para la VCN1 y VCN3, derivadas de la primera y tercera medida de parámetro distancia (1) Dia-Ext (197.91 mm) y distancia (2) No-

Ocp (197.78 mm) que presentan una mayor distancia promedio en milímetros (mm) en comparación con la medida promedio del diámetro anteroposterior interno de la cabeza Dia-Int.(188.63 mm). Es decir, a igual velocidad (denominador), la magnitud o talla de la correlación entre el índice VCN y el CI, aumentaría a media que aumenta el valor promedio del parámetro distancia (numerador) o longitud craneoencefálica.

En relación al caso, ya apuntamos que una de las correlaciones mejor establecidas en la literatura es la observada entre el tamaño cerebral y las puntuaciones de CI, que presenta un patrón sistemático y uniforme de asociación positiva de un valor promedio de $r=0.40$ (Wickett, Vernon *et al.*, 2000) que oscila en el rango de $r=0.40-0.51$ (Andreasen *et al.*, 1993; para la referencia de un metaanálisis, McDaniel *et al.*, 2002, citados por Gray y Thompson, 2004). En la revisión de los estudios de volumen cerebral y CI nos percatamos de un importante dato en relación a la magnitud de la correlación estadística observada relacionada con el uso de la resonancia magnética (RM). Así, puede observarse claramente que, mediante el uso de la RM, el valor de la magnitud de la correlación se incrementa a casi el doble: de aproximadamente 0.20 en los estudios donde se utilizaba medidas antropométricas crudas (literalmente más que metafóricamente), hasta obtener un valor medio aproximado de $r=0.40$ con el uso de la RM para la medida del tamaño cerebral.

En consecuencia, podemos observar claramente que éste efecto de incremento en la magnitud de la correlación por el uso de la RM puede observarse también en la magnitud de la correlación entre el índice VCN-CI (AMP), cuya correlación máxima alcanzada fue de $r=0.26$ en el estudio de Reed y Jensen (1992)(utilizando medidas antropométricas crudas para la medida de la longitud), y en el nuestro se nos incrementa en un valor promedio aproximado de $r= 0.40$ entre la VCN-CI de las AMP (utilizando RM en la medida de la longitud). El valor de la correlación que hemos obtenido entre VCN-CI (AMP, Gf/OP, Cubos) oscila en un rango de 0.39-0.50. De manera que éste resultado es el dato de soporte más llamativo y significativo para demostrar que tal asociación estaría en perfecta concordancia con la observación del incremento en la magnitud de la correlación volumen cerebral-CI a casi el doble (de 0.20 a 0.40) por el uso de la RM en la medida del tamaño cerebral. Es decir, con el uso de la RM para la medida del parámetro distancia o longitud del índice VCN, la correlación entre las puntuaciones de CI y el indicador VCN sufre un incremento de una magnitud similar a la observada en la asociación volumen cerebral-CI con el uso de la RM.

Entonces nos planteamos, **¿Cuál es la base de la correlación VCN-CI? ¿Qué estamos midiendo en realidad con el índice VCN? ¿El índice VCN es válido para la medida del constructo de la velocidad-eficiencia neural?** Parece ser que en la base de la correlación entre el índice VCN y la inteligencia psicométrica (CI)

no solamente podría estar implicado el parámetro del tiempo (velocidad) de transmisión neural, sino que la ratio de la velocidad de respuesta de latencia medida por el índice VCN (d/t) está en función del parámetro distancia o longitud de la cabeza. En consecuencia, y según se observa por nuestros datos empíricos, la talla de la correlación (VCN-CI) parece ser que está más en consistencia con la covariación de la longitud de la cabeza que con la variación de las medidas biológicas de velocidad de los VEP. Además de observar que, y en referencia a los datos de las correlaciones VCN-CI del estudio de Reed y Jensen, la magnitud de la correlación entre la VCN y el CI en nuestro estudio se incrementa hasta aproximadamente el doble utilizando la RM, el mismo incremento que se observa en la correlación volumen cerebral-CI.

En la valoración de la base de la asociación VCN-CI, además, ha de considerarse que, por una parte, el patrón de las relaciones entre los indicadores de la actividad cerebral de los potenciales evocados y la inteligencia psicométrica (CI) se caracteriza por presentar una gran variabilidad e inconsistencia en sus resultados, mientras que, por otra parte, la relación entre el tamaño cerebral y el CI es una de las mejor establecidas en la literatura. Según lo que acabamos de apuntar, sería lógico deducir, que la consistencia y uniformidad de la correlación presentada entre el índice VCN y el CI de aproximadamente $r=0.40$, parece ser que vendría explicada y determinada más por la covariante de longitud de la cabeza que por el peso de los parámetros neurales de los potenciales evocados (VEP).

De manera que, desde el punto de vista teórico, el indicador VCN no estaría en la línea de investigación de la inteligencia humana más reduccionista (elemental). Los datos empíricos y los argumentos que hemos aportado permiten razonablemente cuestionar la validez del indicador VCN en la exploración de la hipótesis de la velocidad en inteligencia (CI). Puesto que el indicador VCN parece ser que no predice diferencias individuales en inteligencia (CI) fundamentalmente por diferencias en las variables biológicas (neurofisiológicas) de los VEP, sino que la correlación entre el índice VCN y el CI estaría más en función del efecto de la covariación con la longitud de la cabeza. Y en este sentido, estamos de acuerdo con la teoría de la función neural (basada en el modelo de Hendrickson) de Eysenck (1982, 1985) que nos indica que es la probabilidad de transmisión de errores en el cerebro, y no el tamaño del cerebro, lo que determina la inteligencia general (g) (Fidelman, 1993, p. 283). En consecuencia, razonablemente concluimos que no queda claro a nivel de los procesos biológicos de la información que el indicador VCN (subcortical) constituya una medida fiable para el constructo de la velocidad-eficiencia neural.

VIII. CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES.

La importancia teórica de los resultados hallados en la presente tesis doctoral es:

8. 1. La revisión, análisis crítico y valoración de los principales índices cerebrales (los tiempos de reacción (TR) y los tiempos de inspección (TI), las medidas de varianza y longitud de cinta de los ERP sensoriales, el índice de volumen cerebral, los índices de la VCN periférica y la VCN central) nos ha llevado a la conclusión de que la realidad de todos éstos indicadores dista mucho de constituirse en medidas fiables del constructo de la eficiencia neural.

8. 2. En general, no hemos hallado relación entre las medidas de velocidad de los potenciales evocados visuales y las medidas de longitud de la cabeza. Aunque con mucha prudencia, éste resultado indicaría que las medidas de velocidad de transmisión son independientes de la longitud de la cabeza en nuestra muestra de estudio.

8. 3. No hemos hallado diferencias entre mujeres y hombres en el índice VCN derivado de la latencia P100 por los ANOVA. Nos limitados a informar sobre este dato, puesto que la idea de explorar diferencias de sexo en velocidad de transmisión neural mediante el indicador VCN resultaría un planteamiento inadecuado.

8. 4. Los resultados obtenidos mediante nuestra muestra de estudio (n=20) no dan soporte a la hipótesis del tiempo rápido de la transmisión neural, ya que la variabilidad en la respuesta cerebral medida por la latencia P100 no estuvo asociada inversamente con la variación de las medidas psicométricas de inteligencia general/fluida/razonamiento.

8. 5. Los resultados indican que hallamos un patrón de relaciones positivas y significativas entre el parámetro de longitud de la cabeza y las medidas psicométricas de inteligencia verbal y no verbal. Estos resultados vendrían a dar soporte a la asociación entre las medidas del tamaño cerebral y las puntuaciones de inteligencia psicométrica (CI), que viene siendo una de las correlaciones mejor establecidas en la literatura, aunque se desconoce su significado.

8. 6. A pesar de la consistencia de los resultados de las correlaciones positivas entre el índice de la VCN y las puntuaciones de CI, no se puede concluir que la base de la correlación observada se deba esencialmente a la velocidad. Puesto que aunque hubiéramos hallado relación entre la velocidad de transmisión neural medida por

latencia P100 y las puntuaciones de CI tampoco podría ofrecerse una conclusión definitiva acerca de que la relación VCN-CI sea debida enteramente a la variabilidad en los VEP o a las medidas biológicas, sinó que el argumento de soporte para la hipótesis de la velocidad- eficiencia neural vendría debilitado o estaría afectado por el mayor peso del parámetro distancia o la longitud (tamaño cerebral) en la determinación de la magnitud de la correlación observada.

8. 7. Deberá tenerse en cuenta que la predicción de las diferencias en inteligencia (CI) por las diferencias en el índice de la VCN, más que estar basada esencialmente en las diferencias neurofisiológicas estará más debida a las diferencias en el tamaño (longitud) de la cabeza; y el índice de volumen cerebral se considera que es una medida pobre e imprecisa para la inteligencia (CI).

8. 8. La exploración de las diferencias individuales en inteligencia psicométrica asociadas a las diferencias en eficiencia neural mediante la introducción del indicador VCN, desde el punto de vista teórico, no está clara a nivel de procesamiento elemental (biológico) de la información.

IX. REFERENCIAS

REFERENCIAS

- ACTON, G. Y SHROEDER, D. (2001). Sensory discrimination as related to general intelligence. *Intelligence*, 29: 263-271.
- AFRA, J. , PROIETTI, A., ET AL. (1998). Visual Evoked Potentials during long periods of pattern reversal stimulation in migraine. *Brain*, 233-241.
- ALGAN, M., ZIEGLER, O. ET AL. (1989). Visual evoked potentials in diabetic patients. *Diabetes Care*, 12(3):227-229.
- ALTMAN, I. (1997). *The Concept of Intelligence: A Philosophical Analysis*. Lanham: University Press of America.
- ALLEN, L. S., RICHEY, M. F., ET AL. (1991). Sex differences in the corpus callosum of de living human being. *Jour nal of Neuroscience*, 11:933-942
- ALLISON, T., WOOD, C. Y GOFF, W. (1983). Brain stem auditory, pattern-reversal visual, and short latencies SEP: latencies in relation to age, sex and brain and body size. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 55 (6) 619-36.
- ALLISON T., WOOD., C. , McCARTHY (1986). The Central Nervus System. En COLES, M. , DONCHIN, E. , PORGES, S. (1986). *Psychophysiology: Systems, processes and applications*. NY: The Guilford Press.
- ANDERSON, B. (1994). Speed of neuron conduction is not the basis the IQ-RT correlation: Results from a simple neural model. *Intelligence*, 19: 317-323.
- ANDERSON, B. (2001). *g* as a consequence of shared genes. *Intelligence*, 29: 367-371.
- ANDREASEN, N. C., FLAUM, M., SWAYZE, V. ET AL. (1993). Intelligence and brain structures in normal individuals. *American Journal of Psychiatry*, 150: 130-134.
- ANDRÉS, A. (1993). *La inteligencia como fenómeno natural*. Valencia: Promolibro.
- ANDRÉS, A. (1996). *Inteligencia y cognición*. Barcelona: Paidós
- ANDRÉS, A. (1997). *Manual de Psicología Diferencial*. Madrid: McGraw-Hill.
- ANDRÉS, A. (1998). La inteligencia humana: actualidad psicológica de un concepto clásico. En *Psicología, Hoy*. Tortosa: UNED.
- ANDRÉS, A. Y BONASTRE, R. M. (1998, 1999). Brain Nerve Conduction Velocity, MRI and Intelligence: New data. Communication-paper presented at the 9th Biennial Convection of the International Society for the Study of Individual Differences, Vancouver, B. C. , July, 1999.
- ANKNEY, C. D. (1992). Sex differences in relative brain size: The mismeasure of woman, too?. *Intelligence*, 16:329-336.
- ARSUAGA, J. L., CARRETERO, J. M. ET AL.(1997). Size variations in Middle Pleistocene humans. *Scienc*, 277:1086-1088.
- BADDELEY, A. (1992). Working memory. *Science*, 255:556-559
- BAKER, L. A., VERNON, P. A. ET AL. (1991).The genetic correlation between intellligence and speed of information processig. *Behavior Genetics*, 21: 351-367.
- BARCELÓ, F., SUWAZONO, S. Y KNIGHT, R. (2000). Prefrontal modulation of visual processing in humans. *Nature Neuroscience*, Vol. 3 (4): 399-403.

- BARRET, P.T., DAUM, I. ET AL. (1990). Sensory nerve and intelligence: A methodological study. *Journal of Psychophysiology*, 4, 1-13.
- BARRET, P.T. Y EYSENCK, H. J. (1992a). Brain electrical potentials and intelligence. In A. Gale y M. Eysenck. (Eds.) *Handbook of individual differences: Biological perspectives*. N.Y.: Wiley.
- BARRET, P. T. Y EYSENCK, H. J. (1992b). Brain evoked potentials and intelligence: The Hendrickson paradigm. *Intelligence*, 16, 361-381.
- BARRET, P. T.Y EYSENCK, H. J. (1993). Sensory nerve conduction and intelligence: a replication. *Personality and individual Differences*, 15 (3):249-260.
- BARRET, P. T. Y EYSENCK, H. J. (1994). The relationship between evoked potential component amplitude, latency, contour length, variability, zero-crossing, and psychometric intelligence. *Personality and individual Differences*, 16:3-32.
- BATES, T. C. Y EYSENCK, H. J. (1993). String length, attention and intelligence: Focused attention reverses the string length-IQ relationship. *Person. individ. Diff.*, Vol. 15 (4):363-371.
- BATES, T., STOUGH, C. , MANGAN, G. Y PELLET, O. (1995). Intelligence and complexity of the averaged evoked potential: An attentional theory. *Intelligence*, 20: 27-39.
- BATES, T. C. Y ROCK, A. (2004). Personality and information processing speed: independent influences on intelligence performance. *Intelligence*, 32: 33-46.
- BEATTY, J., BARTH. D. ET AL. (1986). Neoromagnetry. En COLES, M. , DONCHIN, E. , PORGES, S. (Ed.), *Psychophysiology: Systems, processes and applications*. NY: The Guilford Press.
- BEHSE, F. Y BUCHTHAL, F. (1971). Normal sensory conduction in the nerves of leg in man. *J. Neurol. Neurosurgery Psychiatry*, 34: 404-414.
- BLINKHORN, S. H. Y HENDRICKSON, D. E. (1982). Average evoked reponses and psychometric intelligence. *Nature*, 295:596-597.
- BOLTON C. F. Y CARTER K. M. (1980). Human sensory nerve compound action potential amplitude: variation with sex and finger circumference. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 43: 925-928.
- BONNET, C. (1995). Processus cognitifs dans la perception: La connaissance perceptive. *Revue Neurologique (Paris)*, 151 (8-9): 442-450.
- BORS, D. A., STOKES, T. L. Y FORRIN, B. ET AL. (1999). Inspection time an intelligence: Practice, strategies, and attention. *Intelligence*, 27(2): 111-129.
- BOUCHARD, T. J. Y McGUE, M. (1981). Familial studies of intelligence: A rewiew. *Science*, 212:1055-1059.
- BOUCHARD, T. J., LYKKEN, D. T., McGUE, M. ET AL. (1990). Sources of human psychological differences: The Minnesota study of twins reared apart. *Science*, 250, 223-228.
- BRADSHAW, J. L. (1997). *Human evolution. A neuropsychological perspective*. East Sussex: Psychology Press Publishers.
- BRENNER, D., WILLIAMSON, S. Y KAUFMAN, L.(1975). Visually evoked magnetic fields of the human brain. *Science*, 190: 480-482.
- BRINKMANN, B., OFBRIEN, J., DRESNER, M. (1998). Scalp-recorded EEG localization in MRI volume data. *Brain Topography*, 10 (4): 245-253.
- BRODY, N.(1992). *Intelligence*. San Diego, CA: Academic Press.
- BRODY, N.(2000). History of theories and measurements of intelligence. En STERNBERG, R. J. (Ed). *Handbook of intelligence*. Cambridge: University Press.

- BROWN, W., LARSON, E. Y JEEVES, M. (1994). Directional asymmetries in interhemispheric transmission time: Evidence from visual evoked potentials. *Neuropsychologia*, Vol. 32 (4): 439-448.
- BUCHSBAUM, M., HENKIN, R. ET AL. (1973). Age and sex differences in average evoked responses in a normal population, with observations on patients with gonadal dysgenesis. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 37:137-144.
- BUCHTHAL, F., ROSENFALCK, A. ET AL. (1966). Evoked action potentials and conduction velocity in human sensory nerves. *Brain Research*, 3:1-122.
- BUCHTHAL, F., ROSENFALCK, A. ET AL. (1974). Electrophysiological findings in entrapment of the median nerve at wrist and elbow. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 37: 340-360.
- BURLE, B. Y BONNET, M. (1997). Further argument for the existence of a pacemaker in the human information processing system. *Acta Psychologica*. (Amst), (2):129-143.
- BURNS, N. R., NETTELBECK, T. Y COOPER C. (1996). The String measure of the event-related potential, IQ and inspection time. *Person. Individ. Diff.*, 21 (4): 563-572.
- BURNS, N. R., NETTELBECK, T. Y COOPER C. (1997). Inspection Time correlates with general speed of processing but not with fluid ability. *Intelligence*, 27(1). 37-44.
- BURNS, N. R., NETTELBECK, T. Y COOPER C. (2000). Event-related potentials correlates of some human cognitive ability constructs. *Personality and Individual Differences*, 29:157-168.
- BUSEY, T. A. Y LOFTUS, G. R. (1994). Sensory and cognitive components of visual information acquisition. *Psychological Review*, 1001 (3):446-469.
- BUSTAMANTE, J. (1988). Neuroanatomía funcional. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.
- CALLAWAY, E. (1975). Brain electrical potentials and individual psychological differences. NY: Grune and Stratton.
- CALLE GUGLIERI, J. A. (1977). Sistema nervioso y sistemas de información. Madrid: Ediciones Pirámide.
- CARLSON, J. S. Y WIDAMAN, K. (1987). Elementary Cognitive Correlates of *g*: Progress and Prospect. En P. A. Vernon (Ed). *Intelligence and Speed of Information Processing*. NY: Ablex.
- CHAIKEN, S. R. (1993). Two models for an inspection time paradigm: processing distraction and processing speed versus processing speed and asymptotic strength. *Intelligence*, 17:257-283.
- CHAIKEN, S. R. (1994). The inspection time not studied: Processing speed ability unrelated to psychometric intelligence. *Intelligence*, 19:295-316.
- CHALKE, F. C. Y ERLT, J. P. (1965). Evoked potentials and intelligence. *Life Science*, 4:1319.
- CHASE (1984). Wechsler Adult Intelligence Scale performance: Cortical localization by fluoro deoxyglucose F18-positron emission tomography. *Archives of Neurology*, 41:1244-1247.
- CHORNEY, M. ET AL. (1998). A quantitative trait locus (QTL) associated with cognitive ability in children: a failure to replicate. *Psychol. Sci.*, 9:159-166.
- CHIAPPA, K. H. (1990). Pattern-shift evoked potentials: Methodology. En K.H. Chiappa (Ed.). *Evoked Potentials in Clinical Medicine* (2nd ed.) New York:

- Raven Press.
- CARLSTEDT, B. Y GUSTAFSSON, J. E. ET AL. (2000). Item sequencing effects on the measurement of fluid intelligence. *Intelligence*, 28(2): 145-160.
- CARPENTER, P. A , JUST, M. A. ET AL. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*, 97: 404-431.
- CARROLL, J. B. (1993). The Human Abilities. Cambridge: University Press.
- CARROLL, J. B.(1997). Psicometrics, intelligence, and public perception. *Intelligence*, 24(1):25-52.
- CARYL, P. G. (1991). Evoked potentials, inspection time, and intelligence. *The psychologist: Bulletin of the British Psychological Society*, 4:537-441.
- CARYL, P. G. (1994). Early event-related potentials correlate with inspection time. *Intelligence*, 18: 15-46.
- CARYL, P., DEARY, I., JENSEN, A., NEUBAUER, A. VICKERS, D.(1999). Information processing approaches to intelligence: progress and prospects. En Mervielde, I., Deary, I., Fruyt, F., Ostendorf, F.(eds.), *Personality psychology in Europe*, vol 7, Tilburg University Press, Tilburg, p. 181-219.
- CATTELL, R. B. (1963). Theory of fluid and cristalized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54:1-22.
- CATTELL, R. B. (1971). Intelligence: its structure growth and action. Boston: Houghton-Mifflin.
- CATTELL, R. B. (1987). Intelligence: its structure growth and action. New York: North Holland.
- CATTELL, J. Mck. (1890). Mental test and measurement. *Mind*, 15:373-380.
- CECI, S. J. (1991). How much does schooling influence general intelligence and its cognitive components? A reassessment of the evidence. *Dev. Psychol.*, 27:703-722.
- CELESIA, G. Y KAUFFMAN, D. (1987). Effects of age and sex on pattern electroretinograma and VEP. *Electroencephalography and Clin. Neurophysiol.*, 3: 161-171.
- COLES, M., DONCHIN, E., PORGES, S. (1986). Psychophysiology: Systems, processes and applications. NY: The Guilford Press.
- COLES, M. , GRATTON, G., Y FABIANI, M. (1990). Event-Related Potentials. En Caccioppo, J. T. y Tassinari, L. J. (Eds) *Principes of Psychophysiology*. New York: Cambridge University Press.
- COLOM, R., ABAD, F., GARCÍA, L. F. y JUAN ESPINOSA, M. (2000). Wechsler's full scale IQ does not measure general intelligence. En prensa.
- COLOM, R., ABAD, F., GARCÍA, L. F. y JUAN ESPINOSA, M. (2002). Education, Wechsler's full scale IQ, and *g*. *Intelligence*, 30: 449-462.
- COLOM, R., JUAN-ESPINOSA, M. Y ABAT, F. ET AL. (2000) Negligible sex differences in general intelligence. *Intelligence*, 28 (1):57-68.
- COLOM, R. Y GARCÍA-LOPEZ, O. (2002). Sex differences in fluid intelligence among high school graduates. *Personality and Individual Differences*, 32:445-451.
- COLOM, R., CONTRERAS, J. ET AL. (2001). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences*, 32: 903-912.
- COSCULLUELA, A. (1990). Rendimiento escolar, inteligencia y velocidad de procesamiento de la información. Tesis doctoral. UB.
- COURT, J. H. Y RAVEN, J. (1995). Manual for Raven's Progressive Matrices: A review. *Alberta Journal of Educational Research*, 29:54-74.

- CRAWFORD, J. R., ALLAN, K. M. Y JACK, A. M. (1992). Short-forms of the UK WAIS-R: Regression equations and their predictive validity in a general population sample. *British Journal of Clinical Psychology*, 31: 191-202.
- CREEL, D., BUEHLER, B. (1982). Pattern evoked potentials in phenylketonuria. *Electroencephalography and Clin. Neurophysiol.*, 53:220-223.
- CRESS, R. H. Y TAYLOR, L. ET AL. (1963). Normal motor nerve conduction velocity in the upper extremities and their relation to handedness. *Archives of Physical Medicine*, 44:216-219.
- CRINELLA, F. M. Y YU, J. (2000). Brain Mechanisms and intelligence. Psychometric *g* and executive function. *Intelligence*, 27 (4): 299-327.
- CRUZ MARTINEZ, A. (1977). Estudio de la velocidad de conducción del nervio sural en individuos normales de diferentes edades. *Revista Clínica Española*, 144 (4):277-282.
- CRUZ MARTINEZ, A., ET AL. (1995). Transcranial magnetic stimulation in multiple system and late onset cerebellar atrophies. *Acta Neurol. Scand.*, 92 :218-224.
- DANEMAN, M. Y CARPENTER, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal behavior*, 19:450-66.
- DAVATZIKOS, C. Y RESNICK, S. (1998). Sex differences in anatomic measures of interhemispheric connectivity: correlation with cognition in women but not in men. *Cerebral Cortex*, 8 (7): 635-640.
- DEARY, I. J., LAGAN, S. J., GRAHAM, K. S. ET AL. (1992). Recurrent severe hypoglycemia, intelligence, and speed of information processing. *Intelligence*, 16: 337-359.
- DEARY, I. J. Y CARYL, P. G. (1993). Intelligence, EEG, and evoked potentials. In P. A. Vernon (Ed). *Biological approaches to human intelligence*. Norwood, NJ: Ablex.
- DEARY, I. J. Y CARYL, P. G. (1997). Neuroscience and human intelligence differences. *Trends Neuroscience*, Vol. 20 (8) :365-371.
- DEARY, I. (2000a). Psychometric intelligence differences in brain function. *The Nature of Intelligence. Novartis Foundation Symposium*, Vol 233:58-72.
- DEARY, I. (2000b). Simple information processing and intelligence. En STERNBERG, R. J. (2000). *Handbook of intelligence*. Cambridge University Press. 267-281.
- DeLACOSTE-UTAMSING, M. C. Y HOLLOWAY, R. (1982). Sexual dimorphism in the human corpus callosum. *Science*, 216:1431-1432.
- DEMETRIU A., CHRISTOU C., ET AL. (2002). The development of mental processing: efficiency, working memory, and thinking. *Monogr. Soc. Res. Child. Dev.*, 67(1):i-viii, 1-155.
- DESIMONE, R. Y UNGERLEIDER, L.C. (1989). Neural mechanisms of visual processing in monkeys. In F. Boller & J. Grafman (Eds.) *Handbook of Neuropsychology* (pp 267-299). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- DETTERTMAN, D. (1982). Does exist *g*?. *Intelligence*, 6:66-108.
- DETTERTMAN, D. (1986). The human intelligence is a complex system of separate processes. In R. J. Sternberg y D. F. Detterman (Eds). *What is intelligence?* (p. 57-61). Norwood, NJ: Ablex.
- DEVLIN, B., DANIELS M. Y ROEDER, K. (1997). The heritability of IQ. *Nature*, Vol. 288: 468-471.
- DIAMOND, M.C. ET AL. (1976). Effects of environment on morphology of rat cerebral

- cortex and hippocampus. *Journal of Neurobiology*, 7: 75:85.
- DONALD, M., ERDAHL, D.L. ET AL. (1984). Funcional correlates of reduced central conduction velocity in diabetic subjects. *Diabetes*.33 (7):627-33.
- DONCHIN, E., KARIS., BASHORE.,T., COLES, M. Y GRATTON, G. (1986). Cognitive Psychophysiology and Human Information Processing. En COLES, M., DONCHIN, E., PORGES, S. (Ed) Psychophysiology: Systems, processes and applications. NY: The Guilford Press.
- DRAYCOTT, S. C. Y KLINE, P. (1994). Further investigation into nature of the BIP. A factor analysis of the BIP with primary abilities. *Personality and individual differences*, 17(2):201-210.
- DUNCAN, J. , EMSLIE, H. Y WILLIAMS, P. (1996). Intelligence and the frontal lobe: The organization of goal-direted behavior. *Cognitive Psychology*, 30: 257-303.
- DUNCAN, J. , SEITZ, R. J., KOLODNY, J., BOR, D., HERZOG, H. ET AL. (2000). A Neural Basis for General Intelligence. *Science*, Vol. 289: 457-460.
- DUNCAN, J. (2001). An adaptative coding model of neural function in prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 2:829-829.
- DURRANT, J. B., SABO, D.L. Y HIRE, R.J. (1990). Gender, head size, and ABRs examined in large clinical sample. Abstract. *Ear Hear*, 11 (3): 210-214.
- DUSTMAN, R. E.Y BECK, E. C. (1972). Relationship of intelligence to visually evoked responses. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 33:254-272.
- EGAN, V., CHISWICK, A., SANTOSH. C., ET AL.(1994). Size isnft everything: A study of brain volume, intelligence and auditory evoked potentials. *Person. individ. Diff.*, Vol. 17 (3):357-367.
- EMBRETSON, S. E. (1995). The role of working memory capacity and general control processes in intelligence. *Intelligence*, 20:169-189.
- EMBRETSON, S. Y SCHMIDT, K. (2000). Psicometric approaches to understanding and measuring intelligence. 423-444. En R. J. Sternberg (2000). Handbook of intelligence. Cambridge: University Press.
- EMMERSON-HANOVER, R. SHEARER, D., CREEL, D., DUSTMAN, R. (1994). Pattern reversal evoked potentials: gender differences and age related in amplitude and latency. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 92:93-101.
- ENGEL, R. Y HENDERSON, N. B. (1973). Visual evoked responses and IQ scores at school age. *Developmental Medicina and Child Neurology*, 15:136-145.
- ERTL, J. Y SHAFFER, E. (1969). Brain responses correlates of psychometric intelligence. *Nature*, 233: 421-422.
- ESPOSITO, G., KIRBY, B. ET AL. (1999). Context dependent neural system specific neurophysiological concomitants of ageing: mapping PET correlates during cognitive activation. *Brain*, 122: 963-979.
- EWING, F. M. y DEARY, I. J. (1998). Effect acute hypoglycemia on visual information processing in adult with type diabetes mellitus. *Physiology and Behavior*, Vol. 64 (5):653-660.
- EYSENCK, H. J. (1982). A model for intelligence. New York: Springer Verlag.
- EYSENCK, H. J. (1985). Psychophysiology and the measurement of intelligence. In Reynolds, C. R y Wilson. V. I (Eds). Methodological and stadistical advances in the study of individual differences(pp 1-49). NY:Plenum.
- EYSENCK, H. J. (1986). The theory of intelligence and the psychophysiology of cognition. In R. Sternberg (Ed). Advances in the psychology of human

- intelligence (Vol. 3). Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- EYSENCK, H. J. (1987). Speed of information processing, reaction time, and the theory of intelligence. In P. Vernon (Ed), Speed of information processing and intelligence. Norwood N.J: Ablex Publishing Corporation.
- EYSENCK, H. J. (1991). Dimensions of personality: 16, 5 o 3?. Criteria for a taxonomic paradigm. *Personality and individual differences*, 12:773-790.
- EYSENCK, H.J. (1993). The biological basis of intelligence. En P.A.Vernon (Ed.). Biological approaches to the study of human intelligence. Norwood, N.J: Ablex.
- EYSENCK, H. J. (1995). Can we study intelligence using the experimental method? *Intelligence*, 20:217-228.
- FIDELMAN, U. (1993). Intelligence and the brain's energy consumption: What is intelligence?. *Personality and Individual Differences*, 14:283-286.
- FLANAGAN, D., MCGREW, K., ORTIZ, S. (2000). The Wechsler Intelligence Scales and Gf-Gc Theory. Boston: Allyn and Bacon.
- FLASHMAN, L. A Y ADREASEN N. C. ET AL. (1998). Intelligence and Regional Brain Volumes in Normal Controls. *Intelligence*, 25 (3):149-160.
- FLYNN, J. R. (1987). Massive IQ gains in 14 nations: What IQ test really measure. *Psychological Bulletin*, 101: 171-191.
- FLYNN, J. R. (1999). The discovery of IQ gains over time. *American Psychologist*, 54 (1):5-20.
- FRANSSSEN, H. Y WIENEKE G. H.(1994). Nerve Conduction and temperature: Necessary warming time. *Muscle Nerve*, (17): 336-344.
- FUREY, M. L. ET AL. (2000). Cholinergic enhancement and increased selectivity of perceptual processing during working memory. *Science*, 290: 2315-2319.
- GALTON, F. (1869). Hereditary genius: an inquiry into his laws and consequences. London: McMillan
- GALTON, F. (1883). Inquiries into human faculty and its development. London: McMillan.
- GARDNER, H. L. (1983). Frames of mind:The theory of multiple intelligences. N.Y: Basic Books.
- GARDNER, H. L. (1993). Multiple intelligences: The theory in practice. N.Y: Basic Books.
- GERHAND, S. (1999). The prefrontal cortex: Executive and cognitive functions. *Brain*, Vol. 122 (5):994-995.
- GEUS, E., WRIGHT, M., MARTIN, N., BOOMSMA, D. (2001). Genetics of brain function and cognition. *Behavior Genetics*, 31 (6): 489-495.
- GEVINS, A., CUTILLO, B., DESMOND, J., WARD, M., BRESSLER, S., BARBERO, N. Y LAXER, K. (1994). Subdural grid recording of disturbed neocortical networks involved with somatosensory discrimination. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 92: 282-290.
- GIL-NAGE, A., PARRA, J., IRIARTE, J., KANNER, A. (2002). Manual de Electroencefalografía. Madrid: McGraw-Hill.
- GILI, A., CAPDEVILA, A. ET AL. (1997). Resonancia Magnética. Centre Diagnòstic Pedralbes. Barcelona: Altarriba Art Edicions.
- GÖLGELI, A. , SÜER, C. ET AL. (1999). The effect of sex differences on event-related potentials in young adults. *Int. J. Neuroscience*, (99): 69-77.
- GOTTFREDSON, L. S. (1997). Why *g* matters: The Complexity of Everyday Life. *Intelligence*, 24 (1): 79-132.

- GOTTFREDSON, L. S. (1999). El factor general de la inteligencia. *Investigación y Ciencia*, Temas 17: 20-26.
- GRAY, J. R., CHABRIS, C. F. ET AL. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 6: 316-322.
- GRAY, J. R. Y THOMPSON, P. (2004). Neurobiology of intelligence: Science and ethics. *Nature Neuroscience*, 5: 471-481.
- GUILFORD, J. P. (1967). The nature of human intelligence. NY: McGraw-Hill.
- GUR, R., TURETSKY, B. , MATSUI, M. , YAN, M. ET AL. (1999). Sex differences in brain gray and white matter in healthy young adults: correlations with cognitive performance. *J. Neuroscience*, 19 (10): 4065-4072.
- GUSTAFSSON, J. E. (1984). A unifying model for the structure of mental abilities. *Intelligence*, 8: 179-203.
- GUSTAFSSON, J. E. Y UNDHEIM, J. (1996). Individual differences in cognitive function. En D. C. Berliner y R. C. Cabfee (Eds.), *Handbook of Educational Psychology* (p: 186-242). N.Y:Macmillan.
- GUTHKELCH, A. BURSICK, D. ET AL. (1987). The relationship of latency of the visual P100 wave to gender and head size. *Electroencephalogra. Clin. Neurophysiol.*, 68 (3):219-222.
- GUTTMAN, L. (1954). A new approach to factor analysis: The radex. En P.F. Lazarsfeld (Ed.), *Mathematical thinking in the social social sciences* (p.216-257), Glencoe. IL. Free Press.
- GUTTMAN, L. Y LEVY, L. (1991). Two structural laws for intelligence test. *Intelligence*, 15: 79-104.
- HAIER, R, J. , SIEGEL, B., TANG, C., ABEL, L., BUCHSBAUM, M. S. (1992). Intelligence and changes in regional cerebral glucose, metabolic rate following learning. *Intelligence*, (16):415-426.
- HAKISTAN, A. Y CATTELL, R. B. (1978). Higher stratum ability structure on a basis of twenty primary abilities. *Journal of educational psychology*, 70:657-659.
- HATANAKA, K., NAKASATO. ET AL. (1997). Striate cortical generators of the N75, P100 and N145 componentes localized by pattern reversal visual evoked magnetic fields. Abstract. *Thoku. J. Exp. Med.*, 182 (I): 9-14.
- HEBB, D. O. (1949). The organization of the behavior. N.Y: Wiley.
- HEGMANN, J. P. WHITE, J. E, Y KATER, S. B. (1973) Physiologiccal function and behavioral genetics. 2. Quantitative genetic analyses of conduction velocity of caudal nerves of the mouse, *Mus musculus*. *Behavior Genetics*, 3:121-131.
- HELMHOLTZ, H. (1850). Description of an ophthalmoscope for the investigation of the retina in the living eye. Chicago: Cleveland press.
- HENDRICKSON, D. E. Y HENDRICKSON, A. E. (1980). The biological basis of individual differences in intelligence. *Personality and Individual Differences*, (1): 3-33.
- HENDRICKSON D. E. Y HENDRICKSON, A. E. (1982).The biological basis of intelligence. Part. I: Theory et part. II. Measurement. In H. J. Eysenck (ed.), *A model for intelligence*. Berlin: Springer-Verlag.
- HERRNSTEIN, R. J. Y MURRAY, CH. (1994). The Bell Curve: Intelligence and class structure in American life. N.Y: Free Press.
- HICK, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4:11-26.
- HILLYARD, S. A. Y KUTAS, M. (1983). Electrophysiology of cognitive processing. *Annual Review Psychology*, 34, 33-61.
- HILLYARD, S. A. Y PICTON, T. W. (1987). Electrophysiology of cognition. In V. B.

- Mountcastle (Ed.), *Hanbook of physiology: Sec. 1. The nervous system: Vol. 5. Higher functions of the brain.* Bethesda, MD: American physiological Society.
- HOFFMAN, R.G. ET AL.(1989). Changes in cortical funtioning with acute hypoglycemia and hiperglycemia in type I diabetes. *Diabetes Care*, 12:193-197.
- HORN, J. L. (1985). Remodeling old models of intelligence. En B. B. Wolman (Ed.). *Hanboock of Intelligence.* N.Y: Wiley.
- HORN, J. L. (1991). Measurement of intellectual capabilities: A review of theory. In K. S. McGrew et al. (Eds). *Woodcock-Johnson technical manual. A reference on theory and courrent research* (p.197-246). Allen, TX: DLM/ Teaching Resources.
- HOWE, M. (1988). Intelligence as an explanation. *British Journal of Psychology*, 79:349:360.
- HUARTE DE SAN JUAN, J. (1575). *Examen de ingenios para las ciencias.* Madrid: Cátedra.
- HUBBARD, J. I., LLINÁS, R., Y QUASTEL. D. M. J. (1969). *Electrophysiological analysis of synaptic transmission.* London: Eduard Arnold
- HUMPHREYS, M. S. Y REVELLE, W. (1984). Personality, motivation, and performance: A thery of the relationship betwen individual differences and information processing. *Psychological Review*, 91:153-184.
- HUNT, E., LUNNENBORG, C. Y LEWIS, J. (1975). What does it means to be high verbal?. *Cognitive Psychology*, 7, 194-227.
- HYLLIENMARK, L., LUDVIGSSON, J. Y BRISMAR, T. (1995). Normal values of nerve conduction in children and adolescents. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 97 (5): 108-214.
- IGUCHI, Y. Y HASHIMOTO, I.(2000). Sequential information processing during a mental arithmetic is reflected in the time course of events-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 111:204-213.
- IRWIN, R. J. (1984). Inspection time and its relation to intelligence. *Intelligence*, 8:47-65.
- JACKSON, D. N. (1984). *Multidimensional Aptitud Battery Manual.* Port Huron, MI: Research Psychologist Press.
- JACOBSON, M. (1991). *Developmental Neurobiology.* N.Y: Plenum Press.
- JA-SONG, M., Y LYNN, R. (1992). Reaction times and intelligence in Korean children. *The Journal of Psychology*, 126 (4): 421-428.
- JASPER, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *EEG Clinical Neurophysiology*, 10:371-375.
- JAUSOVEC, N. ET AL. (2001). Differences in EEG current density related to intelligence. *Cognitive Brain Research*, (12): 55-60.
- JAYME, M. P. (1995). *Diferencias individuales y de sexo en procesos atencionales.* Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- JEFFREYS, D. A. (1977). The physiological significance of pattern visual evoked potentials recorded from human scalp. *Visual Evoked Potentials in Man*, Clarendon Press, Oxford, p.134-167.
- JENSEN, A. R. Y MUNRO, E. (1979). Reaction time, movement time, and intelligence. *Intelligence*, 3(2):121-126.
- JENSEN, A. R. (1982).The cronometry of intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence.* Vol 1. Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- JENSEN, A. R. (1985). *Methodological and stadistical techniques for the chronometric*

- study of mental abilities. In C. R. Reynolds and V. L. Willson (Eds.), *Methodological and statistical advances in the study of individual differences*. New York: Plenum.
- JENSEN, A. R. (1987) Individual differences in the Hick paradigm. In P. A. Vernon (Ed.), *Speed of information processing and intelligence*. Norwood, N.J: Ablex.
- JENSEN, A. R. Y SINHA, S. N. (1993). Physical Correlates of Human Intelligence. In P.A. Vernon (Ed.). *Biological approaches to the study of human intelligence*. Norwood, NJ: Ablex.
- JENSEN, A. R. (1993a). Spearman's *g*: Links Between Psychometrics and Biology. *Annals of New York Academy of Sciences*, Vol.702 (17):103-129.
- JENSEN, A. R. (1993b). Why is reaction time correlated with psychometric *g*? *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 2 (2): 53-56.
- JENSEN, A. R. (1993c). Spearman's Hypothesis Tested With Chronometric Information-Processing Tasks. *Intelligence*, (17): 47-77.
- JENSEN, A. R. Y WENG, L. (1994). What is a good *g*? *Intelligence*, (18): 231-258.
- JENSEN, A. R. (1994). Psychometric *g* related to differences in head size. *Person. Individ. Diff.*, Vol. 17(5):597-606.
- JENSEN, A. R. (1998). *The g factor*. Westport, CT: Praeger.
- JENSEN, A. R. (1999). "Galton's Legacy to Current Research on Intelligence". Conferencia presentada en The Zoological Society of London. The Galton Institute. Septiembre, 1999.
- JENSEN, A. R. (2000). The *g* factor: psychometrics and biology. *The Nature of Intelligence. Novartis Foundation Symposium*, Vol 233:37-47.
- JOHNSON, R. (1988). The amplitude of the P300 component of event-related potential. En P. K. Ackles, J. R. Jennings, y M. G. Coles (Eds.), *Advances in psychophysiology: A research manual* (Vol.3, p. 69-138). Greenwich, CT: JAI Press.
- JOHNSON, R. (1995). Event-related potentials insights into the neurobiology of memory systems. En R. Johnson y J. C. Baron (Eds.), *Handbook of Neuropsychology*. Amsterdam: Elsevier
- JUAN-ESPINOSA, M. (1997). *Geografía de la Inteligencia Humana*. Madrid: Pirámide.
- KAAS, A. Y GARRAGHTY, P. E. (1991). Hierarchical, parallel, and serial arrangements of sensory cortical areas: Connections patterns and functional aspects. *Current Opinions in Biology*, 1:248-251.
- KAMEN, G., TAYLOR, P. Y BEEHLER, P. (1984). Ulnar and posterior tibial nerve conduction velocity in athletes. *Int. J. Sports. Med.*, Febrero, p:26-30.
- KANDEL, E. ET AL. (1985). *Principes of neural science*. (2nd ed.) New York: Elsevier.
- KANDEL, E. ET AL. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall.
- KAUFMAN, A. S. (1979). Wisc-R Research: Implications for interpretation. *School Psychology Digest*, 8 (1) : 5-27.
- KAUFMAN, A. S. ET AL. (1990). Sex, race, residence, region, and education differences on the 11 WAIS-R subtests. *Journal of clinical psychology*, 44:231-248.
- KAUFMAN, A. (2000). Test of intelligence. En STERNBERG, R. J. (Ed.), *Handbook of intelligence*. Cambridge: University Press. pp.445-476.
- KAUFMAN, A. (2001). WAIS-III, Horns's theory, and generational changes from young adulthood to old age. *Intelligence*, 29:131-167.
- KAUFMANN, C. Y ELBEL, G., ET AL. (2001). Frequency dependence and gender effects in visual cortical regions involved in temporal frequency dependent pattern processing. *Human Brain Mapp*, 14(1):28-38.

- KHEDR, E. M., ELTOONY, L. F., TARKHAN, M. N. (2000). Peripheral and Central Nervous System alterations in Hypothyroidism: electrophysiological findings. *Neuropsychobiology*, 41:88-94.
- KILLONEN, P. C., Y CHRISTAL, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?!. *Intelligence*, 14: 389-433.
- KLINE, K. (1991). *Intelligence: the psicometric wiew*. London: Routledge.
- KLINE, K., DRAYCOTT, S.C McANDREW,V.(1994). Reconstriuing intelligence: a factor analytic study of BIP. *Personality and individual differences*, 16(4) 529-536.
- KOHS, S. C. (1923). *Intelligence measurement*. N.Y: Macmillan.
- KONG, J., WANG, Y., ET AL. (1999). Brain potentials during mental arithmetic-effects of problem difficulty on event-related potentials. *Neurosci. Lett*, 260: 169-172.
- KORTH, D. Y WITWKOFF, G. (1988). Zur motorischen Leitgeschwindigkeit von Extremitaetennerven bei Sportlern. *Medizin und Sport*, 28 (I):11-13.
- KOSSLYN, S.M. ET AL. (2002). Bridging psychology and biology: the analysis of individuals in grup. *American Psychologist*, 57:341-351.
- KRANZLER, J. H. Y JENSEN, A. R. (1989). Inspection time and intelligence: A meta-analysis. *Intelligence*, 13: 329-347.
- KRANZLER, J. H. Y JENSEN, A. R. (1991). The nature of psychometric *g*: Unitary process or number of independent processes?. *Intelligence*, 15, 397-422.
- KRANZLER, J. H. Y JENSEN, A. R. (1993). Psicometric *g* is still not unitary after eliminating supposed "impurities": Further Comment on Carroll. *Intelligence*, 17:11-14.
- KRARUP, C., STEVEN, H. ET AL. (1992). The influence of the stimulus on normal sural nerve conduction velocity: A study of latency of activation. *Muscle & Nerve*, 15:813-821.
- KUTAS, M., MCCARTHY, G., DONCHIN, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of sitimulus evaluation time. *Science*, 197:792-795.
- KUTAS, M., IRAGUI, V. Y HILLYARD, S. A. (1994). Effects of againt on event-related brain potentials (ERPs) in visual detection task. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, (92): 126-139.
- LANDAUER, A. A.(1981). Sex differences in decision and movement time. *Perceptual and Motor Skills*, 52 (1): 90.
- LARSON, G. E. Y SACUZZO, D. P. (1989). Cognitive correlates of general intelligence: towars a process theory of *g*. *Intelligence*, 13:5-31.
- LARSON, G E. Y SACUZZO, D. P. Y BROWN, J. (1994). Motivation: Cause or confound in information processing/intelligence correlations?. *Acta Psychologica*, p: 8525-8537.
- LEHMANN, F. (1992). La rapidità nell'allenamento giovanile dello sprint. *Rivista di Cultura Sportiva*, Anno XI, núm. 25: 47-53.
- LEHRL, S. Y FISHER, B. (1988). The basic parameters of human information procesing: Their role in the determination of intelligence. *Personality and individual differences*, 9: 883-896.
- LEHRL, S. Y FISHER, B. (1990). A basic information psychological parameter (BIP) for de reconstructions of concepts of intelligence. *European Journal of Personality*, 4:259-286.
- LEVY, P. (1992). Inspection time and its relation to intelligence: Issues of mesurement and meaning. *Person. individ. Diff.*, Vol.13(9): 987-1002.
- LEWIS, E.G. DUSTMAN, R. E. Y BECK, E. C. (1972). Evoked response similarity in monozygotic, dizygotic, and unrelated individuals: A comparative study.

- Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 32:309-316.
- LEZAK, M. D. (1983). Neuropsychological assesment. 2nd ed. N.Y: Oxford University Press.
- LOGOTHETIS, N. , GUGGENBERG, H., PELED, S. Y PAULS, J. (1999). Functional imaging of the monkey brain. *Nature Neuroscience* (Vol. 2) 6 p: 555-562.
- LOGOTHETIS, N. Y KIM, D. (2000). Can current fMRI techniques reveal the microarchitecture of cortex?. *Nature*, Vol. 3.(5): 413-414.
- LUDIN, H. P. Y BELEYER, F. (1977). Temperature dependence on normal sensory nerve action potentials. *Journal of Neurology*, 216:173-180.
- LUDIN, H. P. (1995). Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Electromyography. Vol. 5. Chapter 3 Methodology. Amsterdam: Elsevier Science.
- LUO, D.Y PETRILL, S. (1999). Elementary cognitive tasks and their roles in *g* estimates. *Intelligence*, 27(2): 157-174.
- LYNN, J. (1990). The role of nutricion in secular increases in intelligence. *Personality and Individual Differences*, 11.273-275.
- MA, D. M. Y LIVENSON, J. A. (1983). Nerve conduction handbook. Philadelphia: F. A. Davis.
- McCALLUM, W.C., CURRY, S. H., ET AL. (1983). Brain event-related potentials as indicadors of early selective processes in auditory target localization. *Psychophysiology*, 20, 1-17.
- MACKEL, R. Y BRINCK, E. (2003). Conduction of neural impulses in diabetic neuropathy. *Clin. Neurophysilogy*, 114 (2):248-55.
- MACKENZIE, B. Y BINGHAM, E. (1985). IQ, inspection time, and response strategies in a universitary population. *Australian Journal of Psychology*, 37:257-268.
- MACKINTOSH, N. J.(1986).The biology of intelligence?. *British journal of psychology*, 77, 1-8.
- MACKINTOSH, N. J. (1998). IQ and Human Intelligence. Oxford: Oxford University Press.
- MACKINTOSH, N.J. y BENNET, E.S. (2002). IT, IQ and perceptual speed. *Personality and Individual Differences*, 32: 685-693.
- MacLULLICH, A. , FERGUSSON, K. , DEARY, I. , STARR, J. , Y WARDLAW, J. (2002). Intracranial capacity and brain volumes are associated with cognition in healthy ederly men. *Neurology*, 59(2):156-74.
- MAFEE, M. F Y SCHATZ, C. J. (1986). CT in the evaluation of the orbit and the bony interorbital distance. *AJNR. Radiology Clinics Norh America*, 7:265.
- MANGUN, G. R. Y HILLYARD, S. A. (1990). Electrophysiological studies of visual selective attention in humans. En Scheibel, A. B. y Wechsler, A. F. (Eds), *Neurobiology of Higher Cognitive Function*. NY: The Guilford Press.
- MANGUN, G. R., LUCK, S.J., GAZZANIGA, M.S. Y HILLYARD, S.A. (1991). Electrophysiological measures of interhemisferic transfer of visual information: Studies of split-brain patiens. *Soc. Neuoscience*. 17, 340-344.
- MANGUN, G. R., BUONOCORE, M. H. ET AL. (1998). ERP and fMRI measures of visual spatial selective attention. *Human Brain Mapping*, 6: 383-389.
- MARSH, M. S. Y SMITH, S. (1994). Differences in the pattern visual evoked potential betwen pregnant and non pregnant women. *Electroencephalography and Clin. Neurophysiol.*, 92(2):102-106.
- MARSHALEK, M. , LOHMAN, D. Y SNOW. R (1983). The complexity continuum in the radex and hierarchical models of intelligence. *Intelligence*, 7: 107-127.
- MARZI, C. A. ET AL. (1991). Is interhemisferic transfer of visuomotor information

- asymmetric?. Evidence for a meta-analysis. *Neuropsychologia*, 29: 1163-1177.
- MATARAZZO, J. D. (1972). Wechsler's measurement and appraisal of adult intelligence. N.Y: Oxford University Press.
- MAYER, R. F. (1963). Nerve conduction studies in man. *Neurology*, 13:1021-1031.
- MAYER, J. D. (1993). The intelligence of emotional intelligence. *Intelligence* (17): 433-442.
- MARYUTINA, T. (1994). Genetic and enviromental factors in interindividual VEP variability. *Person. Individ. Diff.*, Vol. 17(4):531-537.
- McCRIMMON, R.J., DEARY, I.J., HUNTLY, B.J., MacKLEOD, K.J. ET AL. (1996). Visual information processing during controlled hipoglycaemia in humans. *Brain*, Vol.119(4): 1277-1287.
- McGARRY- ROBERTS, P. A., STELMACK, R. ET AL. (1992). Intelligence, reaction times, and ERP. *Intelligence*, 16, 289-313.
- McDANIELS, M.A.Y NGUYEN, N. (2002). A meta-analysis of the relationship between MRI- assessed brain volumen and intelligence. *Proc. Int. Soc. Intelligence. Res.*
- MECACCI, I., SPINELLI, D. Y VIGGIANO, L. (1990). The effects of visual fields on hemispheric asimmetry of pattern reversal visual evoked potentials. *Inter. J. Neurosciences*, Vol. 51: 141-151.
- MECACCI, I. Y SPINELLI, D. (1999). The evaluation of experimental data in neuropsychology (pp.57-68). G. Denes y L. Piazzamiglio (Eds.), Hanbook of Clinical and experimental neuropsychology. East Sussex, UK: Psychology Press.
- MELIS, C. BOXTEL, A. (1999). Generalizability of component processes in intelligence as revealed by latency measures. *Intelligence*, 27(1):45-81.
- MILLER, E. M. (1994). Intelligence and brain myelination: A hypothesis. *Person. Individ. Diff.*, 17:803-832.
- MÖLLER, T, B. Y REIF, E. (1996). Atlas de cortes anatómicos: TC y RM. Vol. 1. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- NÄÄTÄNEN, R. (1984). In research of short-duration memory trace of a stimulus in the human brain. En Pulkkinen, L, y Lytinen, P (Eds.), Human action and personality. Jyväskylä: Finland: University of Jyväskylä.
- NÄÄTÄNEN, R. Y PICTON, T. (1987). The N1 wave of human electric and magnetic response to sound: a reiew and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24(4): 375-425.
- NAGEL, T. (1998). Reductionism and antireductionism. The limits of reduccionism in biology. *Novartis Foundation Symposium*. Vol. 213:3-11.
- NEARY, D. (1999). The prefrontal cortex. *Brain*, Vol. 122(2):370.
- NECKA, E. (1992). Cognitive analysis of intelligence: The significance of working memory processes. *Person. individ. Diff.*, 13 (9):1031-1046.
- NEISSER, U. (1967). Cognitive psychology. NY: Appelton-Century-Crofts.
- NEISSER, U. ET AL. (1996). Intelligence: knowns and unknowns. *American Psychologist*, 51:77-101.
- NETTELBECK ET AL. (1987). Inspection time and intelligence. In P. A. Vernon (Ed) Speed of information processing and intelligence. Norwood, N.J: Ablex.
- NEUBAUER, A. , FREUDENTHALER, H. , Y PFURSCHELLER, G. (1995). Intelligence and spatiotemporal patterns of event-related desynchronization (EDR). *Intelligence*, 20:249-266.
- NEUBAUER, A. C, FINK, A. , SCHRAUSSER, D. G.(2002). Intelligence and neural

- efficiency: The influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Intelligence*, 30: 515-536.
- NILSSON, J. (1992). Determining the site of stimulation during magnetic stimulation of peripheral nerve. *Electroencefalography and Clinical Neurophysiology*, 85: 253-264.
- NYBORG, H. Y JENSEN, A. R. (2000). Testosterone levels as modifiers of psychometric *g*. *Personality and Individual differences*, 28:601-607.
- OH, S. J. (1993). Clinical electromyography: Nerve conduction studies. Baltimore: University Park Press.
- OLIVAN, J. , ALVAREZ, F. , CUBERO, M. L. (1990). Effect of cephalic perimeter and temperature on the latency and amplitude of the P100 component of the VEP. *Arch. Neurobiol.*, 53(2):84-88.
- OROSS, S. Y WOODS, C.B. (2003). Exploring visual perception abilities in individuals with intellectual disabilities: Assessment and implications. En S. Soraci et al. (Ed.). Visual Information Processing. Westport: Praeger
- PARISI, V., UCCIOLI, L., ET AL.(1998). Neural conduction in visual pathways in newly-diagnosed IDDM patients. *Electroencefalography and Clinical Neurophysiology*, 108:490-496.
- PARRA, J. Y LOPES DA SILVA, F. H. (2002). Bases neurofisiológicas de la electroencefalografía y magnetoencefalografía. En A. GIL-NAGE, J. PARRA ET AL. Manual de Electroencefalografía. Madrid: McGraw-Hill.
- PELOSI, L., HOLLY, M., SLADE, T. ET AL. (1992). Event-related potential (ERP) correlates of performance intelligence test. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 84:515-520.
- PELLEGRINO, J. W. Y GLASER, R. (1979). Cognitive correlates and components in the analysis of individual differences. *Intelligence*, 3: 187-214.
- PHELPS, M., MAZZIOTTA, J.C. ET AL. (1982). Study of cerebral function with positron computed tomography. *J. Cerebral Blood Flow Metab.* 2:213-162.
- PICTON, T. W. (1988). Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology. Human Event-Related Potentials. Vol. 3. N.Y: Elsevier.
- PINTO, F., GRIPPO, A. ET AL. (1992). Peripheral and central nervous system anomalies in HIV-1 infection: An electrophysiological study. *Neurophysiology Clin.*, 22:393-401.
- PLOMIN, R., McCLEARN, G. E. SMITH, D. L. ET AL. (1994). DNA markers associated with high versus low IQ: The IQ Quantitative Trait Loci (QTL) Project. *Behavior Genetics*, (24):107-118.
- PLOMIN, R. Y DeFRIES, J. (1999). Genética y cognición. *Investigación y ciencia*, Temas 17: 60-67.
- PLOMIN, R., HILL, L. , GRAIG. , I. , McGUFFIN, P. , PURCELL, S. ,SHAN, P., LUBINSKI, D., THOMPSON, L. ET AL. (2001). A genome-wide scan of 1842 DNA markers for allelic association with general cognitive ability: a five stage design using DNA pooling and extreme select groups. *Behavior Genetics*, 3 (6):497-509.
- PLOMIN, R.Y KOSSLYN, S. (2001). Genes, brain and cognition. *Nature Neuroscience*, Vol. 4. (12): 1153-1155.
- POLISCH, J. Y MARTIN, S. (1992). P300, cognitive capability, and personality: a correlational study of university undergraduates. *Personality and Individual differences*, Vol. 13:533-543.
- PORTA, J., BONASTRE, R. M. , COS, F. Y LÓPEZ DE VIÑASPRE, P. (1995). La valoración de los movimientos rápidos y coordinados. Su interrelación y

- capacidad de selección de talentos deportivos. Vol. I . Aplicacions i fonaments de les activitats físico-esportives. A: *Actes del Segon Congrés de les Ciències de l'Esport i l'Educació Física de l'INEFC*. -1995 Lleida.p: 489-502.
- POSNER (1978). *Cronometric explorations of mind*. Hillsdale, N. J: Lawrence Erlbaum Associates.
- PRABHAKARAN, V., SMITH, J. DESMOND, J. E. (1997). Neuronal substrates of fluid reasoning and fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's progressive matrices test. *Cogn. Psychol.*, 33:43-63.
- PUJOL, J., VENDRELL, P. ET AL. (1995). Estudio de la actividad cerebral con resonancia magnética funcional. *Medicina Clínica*. Vol. 104 . Núm. 1: 1-5.
- RABBIT, P. (1996). Do individual differences in speed reflect "global" or "local" differences in mental abilities?. *Intelligence*, (22): 69-88.
- RAE, C., SCOTT, R. B., THOMPSON, C.H. ET AL (1996). Is ph a biochemical marker of IQ?. *Proceedings of the Royal Society (London)*, 263: 1061: 1064.
- RAVEN, J. C. (1938). *Progressive Matrices: A perceptual test of intelligence*. London. :H.K. Lewis.
- RAVEN, J. C. (1996). *Manual de las Matrices Progresivas*. Madrid: TEA Ediciones.
- REE, M.J. Y EARLES, J.A.(1991). The stability of *g* across different methods of estimation. *Intelligence*, 15, 271-278.
- REED, T. E. (1984). Mechanism for heritability of intelligence. *Nature*, 311- 417.
- REED, T. E. (1988). Narrow sense heritability estimates for nerve conduction velocity and residual latency in mice. *Behavior genetics*, 18: 595-603.
- REED, T. E. (1993). Effect of enriched (complex) environment on nerve conduction velocity: New data and review of implication for speed of information processing. *Intelligence*, 17: 533-540.
- REED, T. E. (1998). Causes of individual variability in reaction times: a neurophysiologically oriented review and new suggestion. *Personality and Individual Differences*, 25: 991-998.
- REED, T. E. Y JENSEN A. R. (1989). Short latency visual evoked potentials, visual tract speed, and intelligence: Significant correlations (Abstract). *Behavior Genetics*, 19:772-773.
- REED, T. E. Y JENSEN, A. R. (1991). Arm nerve conduction velocity (NCV), brain NVC, reaction time and intelligence. *Intelligence*, (15): 33-47.
- REED, T. E. Y JENSEN, A. R. (1992). Conduction velocity in a brain nerve pathway of normal adults correlates with intelligence level. *Intelligence*, (16): 259-272.
- REED, T. E. Y JENSEN, A. R. (1993a). Chose reaction time and visual pathway nerve conduction velocity both correlate with intelligence but appear not to correlate with each other: implications for information processing. *Intelligence*, (17): 191-203.
- REED, T. E. Y JENSEN, A. R. (1993 b). A somatosensory latency between the thalamus and cortex also correlates with level of intelligence. *Intelligence*. 17:443-450.
- REGAN, D. (1984). ERP and Psychophysics. 303-317. En E. Donchin (Ed). *Cognitive Psychophysiology: Event-Related Potentials and study of Cognition*. Vol. I. Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- REGAN, D. (1988). Human Visual Evoked Potentials. 159-243. En T. W. Picton (Ed). *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology*. Vol. 3. NY: Elsevier.
- REITAN, R. M. (1955). Certain differential effects of the left and right cerebral lesions in human adults. *Journal of comparative and physiological psychology*,

- 48:474-477.
- RENAULT, B. (1992). La magnétoencéphalographie. *Psychologie Française*, 7(2):107-109.
- REYNOLDS, C. Y KAUFMAN, A. (1990). Assessment of children's intelligence with the Wechsler Intelligence Scale for Children-Revised (WISC-R). En C. R. Reynolds y R. W. Kamphaus (Eds), Handbook of psychological and educational assessment of children: Intelligence and achievement (p. 127-165). NY: Guilford.
- RICHER, F., BARTH, D., BEATTY, J. (1983). Neuromagnetic localization of two components of the transient visual evoked response to patterned stimulation. *Il nuovo Cimento*, 2D:420-428.
- RIJSDIJK, F., BOOMSMA, F. Y VERNON, P. A. (1995). Genetic analysis of peripheral nerve conduction velocity in twins. *Behavior Genetics*, Vol 25(4): 341-348.
- RIJSDIJK, F. Y BOOMSMA, F. (1997). Genetic mediation of the correlation between peripheral nerve conduction velocity and IQ. *Behavior Genetics*, Vol. 27(2): 87-98.
- RISTANOVIC, D., JOVANOVIC, V. ET AL. (1989). Pattern reversal visual evoked potentials in normal 7-to 15 year old twins: a correlation analysis. *Neuropsychobiology*, 21(1):43-47.
- RIVNER, M., SWIFT, T. ET AL. (1990). Toward more rational nerve conduction interpretations: The effect of height. *Muscle & Nerve*, 13:232-239.
- RHODES, L. , DUTSMAN, R. E. Y BECK, E. C. (1969). The visual evoked response: A comparison of bright and dull children. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 27:364-372.
- ROBINSON, D. L. (1993). The EEG and intelligence: An appraisal: 695-716
- ROBINSON, D. L. (1996). Brain, Mind and Behavior. A new perspective on human nature. Westport: Praeger.
- ROBINSON, D. L. (1997). Age differences, cerebral arousability, and human intelligence. *Personality and Individual differences*, Vol.23 (4): 601-618.
- ROBINSON, D. L. (1998). Sex differences in brain activity, personality and intelligences: a test of arousal theory. *Personality and Individual differences*, Vol. 25:1133-1152.
- ROBINSON, D. L. (1999). The "IQ" factor: implications for intelligence theory and measurement. *Personality and Individual differences*, Vol. 27:715-735.
- ROBINSON, L. R., RUBNER, D. E. ET AL. (1993). Influences of Height and Gender on Normal Nerve Conduction Studies. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol 74, November.
- ROOY, C. V. , STOUGH, C. ET AL. (2001). Spatial working memory and intelligence. Biological correlates. *Intelligence*, 29:275-292.
- ROSE, S. (1998). What is wrong with reductionist explanations of behavior?. The limits of reductionism in biology. *Novartis Foundation Symposium*, Vol. 213:176-186.
- ROSENSTEIN, G., FURMAN, V. ET AL. (1994). Single P100 visual evoked potential analyses in man. *Int. J. Neuroscience*, 79 (3-4):251-265.
- ROUNDS, G. H.(1928). Is the latent time in the achilles tendon reflex a criterion of speed in mental reactions?. *Archives of Psychology*, 95.
- ROYER, F. L. ET AL. (1984). Stimulus parameters that produce differences in block design performance. *Journal of Clinical Psychology*, 40:1447-1485.
- ROZENCWAJG, P. Y CORROYER, D. (2002). Strategy development in a block design task. *Intelligence*, 30: 1-25.

- RUGG, M. D. ET AL. (1985). Visual evoked potentials to lateralized stimuli in two cases of callosal agenesis. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 48: 367-373.
- SALOVEY, P. Y MAYER, J. D.(1990). Emotional intelligence. *Imagination, Cognition and Personality*, 9: 185-211.
- SAPPEY-MARINIER, D., CALABRESE, G. ET AL. (1992). Effect of photic stimulation on human visual cortex lactate and phosphates using magnetic resonance spectroscopy. *J. Cereb. Blood Flow Metab.*, 12:584-592.
- SCHMIDT-NIELSEN, K.(1975). Scaling in biology: the consequences of size. *Journal of experimental Zoology*, 194 : 287-307.
- SHAFER, E. (1982). Neural adaptability: a biological determinant of behavioral intelligence. *International J. of Neuroscience*, 17:183-191.
- SHAGASS, C. (1972). Evoked brain potentials in psychiatry. N.Y: Plenum Press.
- SHAGASS, C., ROEMER, R. A. ET AL. (1981). Intelligence as a factor in evoked potential studies in psychopathology. 1. Comparison of low and high IQ subjects. *Biological Psychiatry*, 11:1007-1029.
- SHANNON, C. E. Y WEAVER, W. (1948). The matemathical theory of comunication. Urbana, IL: University of Illinois press.
- SHIBATA, K., OSAWA, M. IWATA, M. (2000). Visual evoked potentials in cerebral white matter hyperintensity on MRI. *Acta Neurólogica Scandinavica*, Vol.102 (4):230-235.
- SHUCARD, D. Y HORN, J. (1972). Evoked cortical potentials and measurement of human abilities. *Journal Of Comparative and Physiological Psychology*, 87: 284-294.
- SHUSHTARIAN, S. M. Y YAHYAVI, S. H. (1999). Study of VEP's during normal monthly cycle in normal female subjects. *Biomed. Sci. Instrum.*, Abstract. 35:165-167.
- SIMSON, R., VAUGHAN, H. G. , RITTER, W. (1976).The scalp topography of potentials associated with missing visual and auditory stimuli. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol*, 40: 33-42.
- SIMSON, R., RITTER, W., VAUGHAN, H. G. (1985). Effects of expectation on negative potentials during visual processing. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 622:25-31.
- SNOW, R. E., KYLLONEN, P.C., MARSHALECK, B. (1984). The topography of ability and learning correlations. In R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*. N.J: Erlbaum.
- SORACI, S. ET AL. (2003). *Visual Information Processing*. Westport: Praeger
- SPEARMAN, C. (1904). General intelligence, objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15:201-293.
- SPEARMAN, C. (1923). *The nature of intelligence and principes of cognition*. London: Macmillan
- SPEARMAN, C. (1927). *The abity of man*. London: Macmillan.
- SPENCER, H. (1855). *The principles of Psychology*. N.Y: Appleton.
- SPERRY, R. W. (1968). Hemisphere deconnection and unity in conscious awareness. *American Psychologist*, 23: 723-733.
- STANKOV. L. Y DUNN, S. (1993). Physical substrata of mental energy: Brain capacity and efficiency of cerebral metabolism. *Learning and Individual Differences*, Vol 5 (3): 241-257.
- STELMACK, R. M. Y HOULIHAN, M. (1995). Event-related potenciales, personality, and intelligence. Concepts, issues, and evidence. In D.H. Saklofske y M. Zeidner (Eds.), *International handbook of personality and intelligence* (p. 349-365).

- N.Y: Plenum Press.
- STELMACK, R. M. , KNOTT, V., BEAUCHAMP, C. M. (2003). Intelligence and neural transmission time: a brain stem auditory evoked potential analysis. *Person. individ. Diff.*, 34: 97-107.
- STERNBERG, R. J. (1977). Intelligence, information processing and analogical reasoning: The componencial analysis of human abilities. Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- STERNBERG, R. J. Y RIFKIN, B. (1979). The developement and analogical reasoning processes. *Journal of Experimental Chid Psychology*, 27:195-232.
- STERNBERG, R. J. Y GARDNER, M. K. (1983). Unities of inductive reasoning. *Journal of experimental Psychology*, 112: 80-116.
- STERNBERG, R. J. (1983). Components of human intelligence. *Cognition* (15): 1-48.
- STERNBERG, R. J. (1985). Beyod IQ: A triarchic theory of human intelligence. Cambridge: Cambridge University Press.
- STERNBERG, R. J. Y DETTERMAN D. K. (1986). Whats is intelligence? Norwood, N. J: Ablex.
- STERNBERG, R. J. (1990). Metaphors of mind: Conceptions of the nature of intelligence. NY: Cambridge University press.
- STERNBERG, R. J. (1994). Experimental approaches to human intelligence. *European Journal of Psychological Assessment*, Vol. 10 (2): 153-161.
- STERNBERG, R. J. Y KAUFMAN, J. C. (1998). Human abilities. *Annual Review of Psychology*, 49:479-502.
- STERNBERG, R. J., GRIGORENKO, E. ET AL. (1999). A Triarchic Analysis of an Aptitude-Treatment Interaction. *European Journal of Psychological Assessment*, Vol. 15 (1):3-13.
- STERNBERG, R. J. (2000). Handbook of intelligence. Cambridge: University Press.
- STERNBERG, R. J. y GRIGORENKO, E. (2002). The general factor of intelligence: How general is it?. Mahwah, N.J: Erlbaum.
- STETSON, D. S. ET AL. (1992). Effects of age, sex, and antropometric factors on nerve conduction measures. *Muscle & Nerve*, 15: 1095-1104.
- STOCKARD, J. J. ET AL. (1979). Visually Evoked Potentials to electronic patterns reversal: latency variation with gender and technical factors. *Amer.J. EEG Technol.*,19: 171-204.
- STOUGH, C. K. , NETTELBECK, T. Y COOPER, C. J. (1990). Evoked brain potentials, string length, and intelligence. *Personality and Individual differences*, 11: 401-406.
- STOUGH, C., THOMPSON, J., BATES, T.C. ETAL. (2001). Examining neurochemical determinants of IT: Development of a biological model. *Intelligence*, 29(6):511-522.
- SUTTON, S., BRADEN, M. ET AL. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150:1187-1189.
- SWICK, D. , KUTAS , M. Y NEVILLE, H. J. (1994). Localizing the Neural Generators of Event-Related Brain Potentials. Cap. 4. En A. Kertesz (Ed): Localization and Neuroimaging in Neuropsychology. San Diego: Academic Press.
- TAN, Ü. (1992). Testosterone and estradiol in right-handed men but only estradiol in right-handed women is inversely correlated with the degree of right-hand preference. *International Journal of Neuroscience*, Vol. 66:25-34
- TAN, Ü. , AKGUN, A. , KOMSUOGLU, S. , TELATAR, M. (1993). Inverse relation between nonverbal intelligence and parameters of pattern reversal visual

- evoked potentials in left-handed male subjects: importance of right brain and testosterone. *International Journal of Neuroscience*, 71 (1-4): 189-200.
- TAN, M. Y TAN, Ü. (1995). Possible lateralization of peripheral nerve conduction associated with gender. *Perceptual Motor Skills*, Dec. 81 (3): 939-43.
- TAN, Ü. (1996). Correlations between nonverbal intelligence and peripheral nerve conduction velocity in right-handed subjects: sex-related differences. *Inter. Jour. of Psychophysiology*. (22):123-128.
- TAN, U., TAN, M. Y POLAT, P., ET AL. (1999). Magnetic Resonance Brain Size/IQ Relations in Turkish University Students. *Intelligence*. 27(1): 83-92.
- TANDON, O. Y SHARMA, K. (1989). Visual evoked potential in young adults: a normative study. Abstrac. *Indian J. Physiol. Pharmacol.*, 33(4): 247-249.
- TAUB, G., HAYES, B. ET AL. (2001). Relative roles of cognitive ability and practical intelligence in the prediction of success. *Psychol Rep.*, 88(3 Pt 1):931-942.
- TAYLOR, T. R. (1994). A review of three approaches to cognitive assessment, and a proposed integrated approach based on a unifying theoretical framework. *South african journal of Psychology*, 24 (4): 183-193.
- TEA S. A. (1998). Manual del WAIS-III. Madrid: TEA Ediciones.
- THOMPSON, P., CANNON, T., NARR, K. ET AL. (2001). Genetic influences on brain structure. *Nature Neuroscience*, Vol.4 (12): 1-6.
- THURSTONE, L. L. & THURSTONE, T. G. (1941). Factorial studies of intelligence. Chicago: University of Chicago Press.
- TRAMO, M., LOFTUS, W., STUKEL, T. GREEN, R. WEAVER, J. GAZZANIGA, M. (1998). Brain size, head size, and intelligence quotient in monozygotic twins. *Neurology*, 50:1246-1252.
- TRAVIS, L. Y YOUNG, C. (1930). The relations of electromiographically measured reflex time in the patellar and achilles reflexes to certain physical measurements and to intelligence. *Journal of General Psychology*, 3:374-400.
- TREISMAN, A. M. ET AL. (1980). Feature integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*, 12: 97-136.
- TREISMAN, M., FAULKNER, A., NAISH, P. L., ET AL. (1990). The internal clock: Evidence for a temporal oscillator underlying time perception with some estimates characteristics frequency. *Perception*, 19: 705-743.
- TREISMAN, M., FAULKNER, A., ET AL. (1992). On the relation between time perception and timing of motor action: Evidence for a temporal oscillator controlling the timing of movement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45A: 235-263.
- VALLS-SOLÉ, J., CRUZ MARTINEZ, A. GRAUS, F. et al. (1995). Abnormal sensory nerve conduction multifocal demyelinating neuropathy with persistent conduction block. *Neurology*, 45: 2024-2028.
- VAN VALEN, L. (1974). Brain size and intelligence in man. *American Journal of Psychologist*, febrero, 128-134.
- VAUGHAN, H. Y AREZZO, J. (1988). The neural basis of event related potentials. En T. W. Picton, (Ed.). Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology. Vol. 3. N. Y: Elsevier.
- VERNON, P. A. (1969) Intelligence and cultural environment. London: Methuen.
- VERNON, P. A. (1983). Speed of Information Processing and Intelligence. *Intelligence*, 7:53-70.
- VERNON, P. A. y JENSEN, A. R. (1984). Individual and group differences in intelligence and speed of information processing. *Personality and Individual Differences*,

- 5: 411-423.
- VERNON, P. A. (1985). Individual Differences in Cognitive general Ability. En L.C. Hartlage y F. Telzrow (Eds.). *The Neuropsychology of Individual differences*. New York: Plenum.
- VERNON, P. A. (1987). Speed of information processig and intelligence. Norwood, NJ: Ablex.
- VERNON, P. A. Y MORI, M. (1989) Intelligence, reaction time, and nerve conduction velocity. *Behavior Genetics*, 19: 779.
- VERNON, P. A. (1990). The use of biological measures to estimate behavioral intelligence. Special Issue: Intelligence and intelligence testing. *Educational Psychologist*, 25 (3 y 4): 293-304.
- VERNON, P. A. Y MORI, M. (1992). Intelligence, Reaction Times, and Peripheral Nerve Conduction Velocity. *Intelligence*, (16): 273-288.
- VERNON, P. A.(1993)(Ed.). Biological approaches to the study of human intelligence. Norwood, N.J: Ablex.
- VERNON, P. A., VICKETT, P., BAZANA, G. , STELMACK, R. (2000). The Neuropsychology and psychophysiology of human intelligence: 245-264. En STERNBERG, R. J. (Ed.), *Handbook of Intelligence*. Cambridge: University Press.
- VICKERS, D. T. ET AL. (1986). The rationale for the inspection time index. *Personality and individual differences*, 7:609-624.
- VIGIL, A. (1991) Electrofisiología del Tiempo de Inspección. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- VIGIL, A., FERRANDO, P. Y ANDRÉS, A. (1993). Initial stages of information processing and inspection time: electrophysiological correlates. *Personality and Individual differences*, 14: 733-738.
- VIGIL, A. Y ANDRÉS, A. (1996). An event-related study of Jensen-Munro's cronometric task: Preliminary results. 8 *th* European Conference on Personality. Belgium. Ghent.
- VIGIL , A., PEREZ- OLLE ET AL. (1997). The relationship of basic information processing measures with fluid and cristallized intelligence. *Personality and Individual differences*, 23 (1):55-65.
- VIGIL, A. (1999). Hans. J. Eysenck y el estudio científico de la inteligencia. En ANDRÉS PUEYO, A y COLOM MARAÑÓN, R. (Ed). HANS JÜRGEN EYSENCK (1916-1997). Madrid: Biblioteca Nueva.
- VIGGIANO, M. P. (1999). Behavioral methods in neuropsychology. En G. Denes y L. Piazzamiglio (Eds.), *Hanbook of Clinical and experimental neuropsychology* (pp.15-30. East Sussex, UK: Psychology Press.
- VIGNEAU, F. , BLANCHET, L. , LORANGER, M. , PEPIN, M. (2002). Response latencies mesured on IQ test: dimensionality of speed indices and the relationship betwen speed and level. *Personality and Individual differences*, 33:165-182.
- VILA, J. (1996). Una introducción a la Psicofisiología Clínica. Madrid: Pirámide.
- VOGEL, F., KRUGER, J. ET AL. (1987). No consistent relationship between oscillations and latencies of visual and auditory evoked EEG potentials and measures of mental performance. *Human Neurobiology*, 6: 173-182.
- VOSS, G., Y KREUSSE, T. (1991). Zu den Beziehungen zwischen elementarem Bewegungsprogramme als einem Ausdruck der Schnelligkeit und grunlegenden neuromukulären Voraussetzungen. *Leistungssport*, 21:24-27.
- VYGOTSKY, L. S. (1978). In the Cole, M. ET AL. (Eds). *Mind in society: The developement of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard

- University Press.
- WARMUTH-METZ, M., NAUMANN, M. ET AL. (2001). Measurement of the midbrain diameter on routine magnetic resonance imaging: Simple and accurate method of differentiating between Parkinson disease and progressive supranuclear palsy. *Arch. Neurol.*, 58 (7):1076-1079.
- WEBER, A. L. KUFLAS, R. Y PLESS, M. (1996). Imaging evaluation of the optic nerve and visual pathway. *Neuroimaging Clinics of North America*, Vol. 6 (1): 143-177.
- WECHSLER, D. (1993). Manual de la Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos. Madrid: TEA Ediciones.
- WICKETT, J., Y VERNON, P. A. (1994). Peripheral nerve conduction velocity, reaction time, and intelligence. An attempt to replicate Vernon and Mori(1992). *Intelligence*, 18:127-131.
- WICKETT, J. C., VERNON, P. A. LEE, D. ET AL. (1994). In vivo brain size, head perimeter, and intelligence in a sample of healthy adult females. *Person. individ. Diff.* Vol. 16: 831-838.
- WICKETT, J. C., VERNON, P. A., BROWN, J. D. (1999). Nerve conduction velocity predicts intelligence, but not reaction time. *Intelligence*. En prensa.
- WICKETT, J. C., VERNON, P. A. Y LEE, D. H. (2000). Relationships between factors of intelligence and brain volume. *Person. individ. Diff.*, Vol. 29: 1095-1122.
- WIDAMAN, K. F. Y CARLSON, J. S. (1989). Procedural effects on performance in the Hick paradigm: Bias in reaction time and movement time parameters. *Intelligence*, 13:63-85.
- WIDAMAN, K. F., CARLSON, J. S., SAETERMORE, C. L. ET AL. (1993). The relationship of auditory evoked potentials to fluid and cristallized intelligence. *Personality and individual differences*, 15 (2): 205-218.
- WILSON-PAUWELS, L., AKESSON, E. J. Y STEWART, P. A. (1991). Nervios Craneanos: Anatomía y clínica. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- WILLERMAN, L., RUTLEDGE, J. N. , Y BIGLER, E. D. (1991). In vivo brain size and intelligence. *Intelligence*, 15: 223-228.
- WILLERMAN, L., SCHULTZ, R., RUTLEDGE, J. N. Y BIGLER, E. D. (1992). Hemisphere size asymetry predicts relative verbal and non-verbal intelligence differently in the sexes: An MRI study of structure-function relations. *Intelligence*, (16):315-328.
- WITELSON, S. F., GLEZER, I. KIGAR, D. L. ET AL. (1995). Women have greater density of neurons in posterior temporal cortex. *Journal of Neuroscience*, 15 (5):3418-3428.
- WOODCOCK, R. W. (1990). Theoretical foundations of the WJ-R measures of cognitive ability. *Journal of Psychoeducational Assesment*, 8:231-258.
- WOODCOCK, R. W. (1994). Measures of fluid and crystalized intelligence. En R.J. Sternberg(Ed.), *The encyclopedia of intelligence* (p.452-456).NY: Macmillan.
- WOLSKI, P. Y NECKA, E. (1996). Is a smart brain a fast brain?. Interhemispheric trasmission time (IHTT) and Intelligence. *Polish Psychological Bulletin*, Vol. 27(2): 065-074.
- YALTKAYA, K., BALKAN, S. ET AL. (1988). Visual evoked potentials in diabetes mellitus. *Acta Neurol. Scand.*, 77 (3): 239-241.
- ZURRON, M. Y DÍAZ, F. (1998). Conditions for correlation between IQ and auditori evoked potential latencies. *Personality and Individual differences*, 24 (2): 279-287.

X. APÉNDICE

SINTAXIS

```
CORRELATIONS/VARIABLES=informac comprens aritm semej digitos vocabula
claves figuras cubos historie romp
/PRINT=TWOTAIL NOSIG
/MISSING=PAIRWISE .
```

```
***ANÁLISIS FACTORIAL DE PRIMER ORDEN*****.
```

```
FACTOR /VARIABLES informac comprens aritm semej digitos vocabula claves
figuras cubos historie romp
/MISSING
LISTWISE /ANALYSIS informac comprens aritm semej digitos vocabula claves
figuras cubos historie romp
/PRINT INITIAL EXTRACTION ROTATION
/CRITERIA FACTORS(3) ITERATE(25)
/EXTRACTION PAF
/CRITERIA ITERATE(25)
/ROTATION PROMAX(4)
/METHOD=CORRELATION .
```

```
***ANALISIS FACTORIAL DE SEGUNDO ORDEN*****.
```

```
***ATENCIÓN AL FORMATO DE LA MATRIZ*****.
```

```
FACTOR
/matrix=in(cor=*)
/MISSING LISTWISE
/PRINT INITIAL EXTRACTION ROTATION
/CRITERIA factors(1) ITERATE(25)
/EXTRACTION paf
/CRITERIA ITERATE(25)
/ROTATION PROMAX(4).
```

```
***** ejemplo de utilización de lenguaje de matrices*****.
```

```
*****PATRONH ES LA MATRIZ PATRON 1*****.
```

```
*****COMUNH ES EL VECTOR H2*****.
```

```
*****PATRON2H ES LA MATRIZ PATRON 2*****.
```

```
matrix.
GET patron
/ FILE="c:\ncv\patron.sav".
GET comun
/ FILE="c:\ncv\comun.sav".
GET patron2
```

```
/ FILE="c:\ncv\patron2.sav".
```

```
print patron.  
print comun.  
print patron2.
```

```
compute uni2=1-comun.  
print uni2.  
compute uni2d=mdiag(uni2).  
print uni2d.  
compute unid=sqrt(uni2d).  
print unid.
```

```
compute p1SL= patron*unid.  
print p1SL.  
compute p2SL= (patron*patron2).  
print p2SL.
```

```
end matrix.
```