UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

RESPUESTA FETAL A ELEMENTOS MUSICALES DE LA VOZ MATERNA.

D.ª Alba María Marín Pérez

2024

UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

RESPUESTA FETAL A ELEMENTOS MUSICALES DE LA VOZ MATERNA.

Autora: D.ª Alba María Marín Pérez

Directores:

D.ª Bárbara Bonacasa Fernández

D. Juan Luis Delgado Marín

UNIVERSIDAD DE MURCIA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR
Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. Alba María Marín Pérez

doctorando del Programa de Doctorado en

Integración y Modulación de Señales en Biomedicina

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

Respuesta fetal a elementos musicales de la voz materna.

y dirigida por,

D./Dña. Bárbara Bonacasa Fernández

D./Dña. Juan Luis Delgado Marín

D./Dña.

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:

- *La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- *En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 9 de Julio de 2024

Fdo.: Alba María Marín Pérez

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia

UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. JUAN LUIS DELGADO MARÍN, Doctor de Universidad del Área de GINECOLOGÍA en el Departamento de Departamento de Cirugía, Pediatría, Obstetricia y Ginecología, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Respuesta fetal a elementos musicales de la voz materna", realizada por D. ALBA MARÍA MARÍN PÉREZ, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 09 de julio de 2024

Firmado por JUAN LUIS DELGADO MARIN el día 09-07-2024 con un certificado emitido por FNMT

Mod:T-20

UNIVERSIDAD DE
MURCIA

Dª. BÁRBARA BONACASA FERNÁNDEZ, Doctora de Universidad del Área de FISIOLOGÍA en el Departamento de FISIOLOGÍA, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Respuesta fetal a elementos musicales de la voz materna", realizada por D. ALBA MARÍA MARÍN PÉREZ, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 28 de junio de 2024

Firmante: BARBARA BONACASA FERNANDEZ; Fecha-hora: 28/06/2024 14:02:41; Emisor del certificado: CN=AC FNMT Usuarios, OU=Ceres, O=FNMT-RCM, C=ES;

Código seguro de verificación: RUxFMoBK-ZTkcXLft-2yDAFq0O-bb1CtCb3

COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento administrativo electrónico archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2015, de 1 de octubre. Su autenticidad puede ser contrastada a través de la siguiente dirección: https://sede.um.es/validador/

A mi madre, por haberme cantado y querido tanto

AGRADECIMIENTOS

No habría podido finalizar esta tesis doctoral sin muchas personas que durante estos años han estado a mi lado y me han apoyado de forma incondicional.

En primer lugar, a mi tutora y directora de tesis Bárbara. Gracias por tu entera dedicación, por tu sensibilidad y por haberme animado siempre, tanto en el ámbito profesional como personal.

A mi director de tesis Juan Luis, por haberme permitido aprender de ti prácticamente todo lo que sé de ecografía fetal. Por esas (interminables) tardes de ecografías 4D con "mi bebé cuánto lo quiere su mamá" y por haber encontrado tiempo de donde no lo tenías para continuar con este proyecto. Gracias.

A Bernardo, por aportar el lado de creatividad que al resto nos faltaba. Gracias por todas las horas y quebraderos de cabeza que has dedicado al estudio, de forma totalmente desinteresada. Por hacer, deshacer y rehacer mil veces los estímulos hasta que fueran perfectos. Sin ti no habría sido posible.

No puedo olvidar a todos mis compañeros de trabajo. A mis antiguos compañeros de ginecología del Hospital Virgen de la Arrixaca, con los que he crecido y donde guardo verdaderos amigos. Gracias por vuestra generosidad, y por todos los conocimientos que me habéis transmitido estos años. También a mis actuales compañeros del Hospital Rafael Méndez, de los que sigo aprendiendo cada día y consiguen que levantarse cada mañana para ir a trabajar sea un placer.

A mis amigas, el nuevo club de madres: Sofi, Patri, Panchi, María, Ana Palazón, Belén, Valle, Ana Zamora, Marina, Esther… la vida nos ha regalado convertirnos en madres prácticamente a la vez y, ¡menudo regalo! Gracias por haber estado siempre,

pero sobre todo estos últimos meses. Por haber calmado mis dudas, haberme consolado y por haber compartido desvelos de madrugada. Sois unas madres y amigas maravillosas.

Gracias a mi familia. Mi hermana Celia, por ser prácticamente una extensión de mí y haberte dejado embaucar para ser parte de este proyecto. Por elevar el grado de perfeccionismo a la máxima potencia y hacer que cada día esté más orgullosa de la mujer en la que te has convertido.

A mi padre Juan Pedro. Porque hace 13 años la vida nos golpeó y te recompusiste. Te tuviste que hacer padre y madre, y no lo has podido hacer mejor. Gracias por habernos transmitido desde pequeñas tu amor por el arte. Por bailar los domingos por la mañana con los Beatles, deleitarnos con tus cuadros y recorrer juntos cada museo alrededor del mundo. Ahora tienes por delante otra etapa maravillosa en tu vida, la de abuelo. Te queremos.

A mi madre, que sé que ahora mismo estaría muy orgullosa de mí. Quiero que sepas que te recuerdo feliz, leyendo, cantando, paseando por la playa. Diciéndome que no tenía que tener miedo, porque tú no lo tenías. Fuiste un verdadero ejemplo de valentía, entereza y superación. La vida es muy injusta, pero gracias a ti me he convertido en la mujer que soy. Te quiero y recuerdo cada día.

A mi tía Mari Tere, mi tío Paco y mis primas Marta y Teresa. Por no dejar que nunca me sintiera sola. Hacéis que mi vida sea más feliz.

A Pedro, Katyana y Anabel. Por ser mi familia y quererme como a vuestra hija y hermana. A mis sobrinas Anabel y Katyana, por iluminar nuestra vida. Estaremos siempre unidos.

No sería quien soy sin mi compañero de vida, Juan. Porque juntos somos el mejor equipo, uno indestructible. De ti he aprendido a no rendirme y perseverar, y gracias a eso hoy estoy escribiendo estas líneas. Gracias por no dejarme nunca caer, por hacerme sentir siempre en casa y por haberte convertido en el mejor padre que existe. Juan y yo no te podemos amar más.

Y por último a ti, mi pequeño Juan. El niño más risueño y especial del mundo. Espero que cuando seas mayor me perdones por las horas que te he tenido delante del ordenador mientras terminaba la tesis. Gracias por haberme descubierto el amor infinito y regalarme cada día tu sonrisa. Convertirme en tu madre ha sido el mayor regalo del universo. Tu mamá te ama hasta el infinito y aún más.

MENCIONES PROFESIONALES

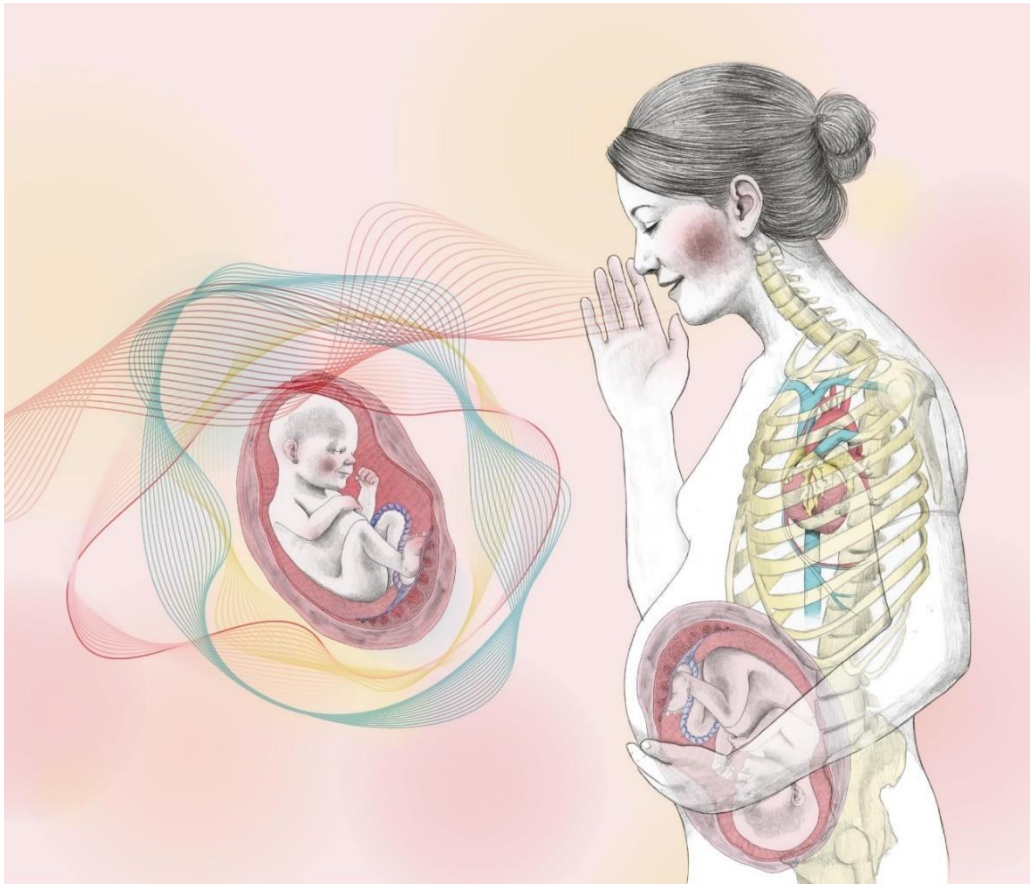
La empresa Italfármaco ha contribuido a este proyecto generosamente aportando el material técnico necesario para la consecución exitosa del mismo. Su apoyo es profundamente valorado y ha sido imprescindible para el desarrollo de nuestra iniciativa.

El presente trabajo de Tesis Doctoral ha contado con el apoyo estadístico del Dr. David Hervás Marín del Dpto. de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad de la Universidad de Valencia para el tratamiento de los datos. http://www.upv.es/ficha-personal/daherma.

Algunas ilustraciones y tablas han sido elaboradas y diseñadas por Noelia Fernández Mayor (https://www.noeliafernandezmayor.com/about) a partir de datos y formatos propios o de la bibliografía, en cuyo caso, es mencionado en cada encabezado.

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

UNIVERSIDAD DE MURCIA



RESPUESTA FETAL A ELEMENTOS MUSICALES DE LA VOZ MATERNA

Alba María Marín Pérez

ÍNDICE

ABREVIATURAS 22

1. INTRODUCCIÓN 25

1.1. DESARROLLO NEUROLÓGICO Y PERCEPCIÓN FETAL 28
1.1.1. Entorno auditivo fetal 30
1.1.2. Sistema aferente auditivo fetal 33
1.1.3. Sistema aferente somestésico fetal 35
1.1.4. Sistema eferente motor 36
1.1.4.1. Movimientos fetales y expresiones faciales 36
1.1.5. Integración sensitivo-motora 40
1.1.6. Evaluación del desarrollo neurológico y motor normal 40
1.2. ESTIMULACIÓN PRENATAL 44
1.3. ELEMENTOS MUSICALES DE LA VOZ 48
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 49

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS 53

2.1. HIPÓTESIS 55
2.2. OBJETIVOS 55

3. MATERIAL Y MÉTODOS 57

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL 59
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 61
3.2.1. Criterios de inclusión 61
3.2.2. Criterios de exclusión 62
3.3. MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS 63
3.3.1. Consentimientos y formularios 63
3.3.2. Grabación de la voz 63
3.3.3. Análisis de la voz 63
3.3.4. Estimulación musical y ecografía 4D 63
3.3.5. Análisis de los datos y estudio estadístico 64
3.4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS 65
3.4.1. Cronograma experimental 65
3.4.1.1. Etapa 1: Reclutamiento 66

3.4.1.2. Etapa 2: Grabación de la voz materna 66
3.4.1.3. Etapa 3: Creación de los estímulos 67
3.4.1.4. Etapa 4: Monitorización de la respuesta fetal 74
3.4.1.5. Etapa 5: Análisis de la respuesta fetal 78
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO 84
3.5.1. Concordancia interobservadoras 84
3.5.2. Respuesta fetal ante los estímulos musicales 85
4. RESULTADOS 87
4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN 89
4.2. CONCORDANCIA INTEROBSERVADORAS 90
4.3. RESPUESTA FETAL ANTE ESTÍMULOS MUSICALES 95
4.3.1. Parpadeo 95
4.3.2. Apertura de boca 98
4.3.3. Bostezo 100
4.3.4. Sonrisa 102
4.3.5. Mueca 105
4.3.6. Protrusión de lengua 107
4.3.7. Fruncimiento de ceño 109
4.3.8. Chupeteo 112
4.3.9. Deglución 114
4.3.10. Llanto 116
4.3.11. Mano 119
4.3.12. Dedos de la mano 122
4.3.13. Cabeza 125
4.3.14. Brazos 128
4.3.15. Piernas 131
5. DISCUSIÓN 135
5.1. DISCUSIÓN DE LA CONCORDANCIA INTEROBSERVADORAS 139
5.2. DISCUSIÓN POR MOVIMIENTOS 141
5.2.1. Parpadeo 141
5.2.2. Apertura de boca 143
5.2.3. Bostezo 145
5.2.4. Sonrisa 147
5.2.5. Mueca 148

5.2.6. Protrusión de lengua 149
5.2.7. Fruncimiento de ceño 151
5.2.8. Chupeteo 152
5.2.9. Deglución 153
5.2.10. Llanto 154
5.2.11. Cabeza 155
5.2.12. Extremidades: brazos, manos, dedos, piernas 156
5.3. DISCUSIÓN GLOBAL 160
5.4. FORTALEZAS Y DEBILIDADES 170
5.4.1. Fortalezas del estudio 170
5.4.2. Debilidades del estudio 171
6. CONCLUSIONES 175
7. RESUMEN 179
7.1. RESUMEN EN CASTELLANO 181
7.2. RESUMEN EN INGLÉS 183
8. BIBLIOGRAFÍA 185
9. ANEXOS 199
9.1. ANEXO 1: APROBACIÓN DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN 201
9.2. ANEXO 2: CONSENTIMIENTO INFORMADO 205
9.3. ANEXO 3: TEXTOS DE LECTURA 211
9.4. ANEXO 4: ESTÍMULO ORIGINAL 217
9.5. ANEXO 5: NOMENCLATURA DE LOS ESTÍMULOS 221
9.6. ANEXO 6: CREACIÓN DE LOS ESTÍMULOS 229
9.7. ANEXO 7: QR DE LA BASE DE DATOS DEL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA FETAL 237

ABREVIATURAS

2D: Dos dimensiones.

3D: Tres dimensiones.

4D: Cuatro dimensiones.

ATNAT: Amiel-Tison Neurological Assessment at Term.

CIR: Crecimiento intrauterino restringido.

dB: Decibelio.

EEG: Electroencefalograma.

EO: Estímulo original.

Escala ABC: Autism Behavioral Checklist.

FCF: Frecuencia cardíaca fetal.

FIV: Fecundación in vitro.

FOMS: Fetal Observable Movement System.

Hz: Hercio.

IMC: Índice de masa corporal.

KANET: Kurjak´s Antenatal Neurodevelopmental Test.

Obs: Observador/a.

OR: Odds Ratio.

SG: Semana de gestación.

VAS: Estimulación vibroacústico.

Movimientos fetales:

- AP: apertura de boca.
- BOS: bostezo.
- BRA: brazos.
- CAB: cabeza.
- CHU: chupeteo.
- DE: dedos.
- DEG: deglución.
- FRU: fruncimiento de ceño.

LLA: llanto.

MA: mano.

MU: mueca.

PAR: parpadeo.

PI: pies.

PRO: protrusión de la lengua.

SON: sonrisa.

1. Introducción

Gran parte del universo biológico, físico y social es entendible gracias a la audición. Desde la era más primitiva, los sonidos nos conectan con el mundo que nos rodea. Nos mantienen alerta de forma constante, suponiendo desde el inicio de la vida una cualidad fundamental para la supervivencia de nuestra especie. Pero no solo constituye una forma capaz de advertirnos de un peligro inminente, sino que también es un medio para reconocer a nuestros semejantes, especialmente como mamíferos que somos, al más determinante para la supervivencia en la primera etapa de la vida: nuestra madre. La voz materna es un sonido que trasciende lo auditivo; es un lazo emocional que nos reconforta, nos calma y nos guía en un mundo desconocido. Desde el útero, el feto comienza a familiarizarse con los tonos y ritmos de la voz de su madre, estableciendo un vínculo único que perdurará toda la vida y que adoptará como referencia sobre todo lo que percibe.

Nuestra relación con el sonido sigue siendo una parte intrínseca de lo que significa ser humano, recordándonos constantemente nuestra conexión con el mundo que nos rodea y con quienes lo habitan junto a nosotros. La evolución del sistema auditivo humano está influida por la selección natural y la cultura. La capacidad auditiva humana es única, ya que nuestro encéfalo es capaz de procesar de manera muy eficiente una amplia gama de sonidos, que incluso alcanzan el lenguaje hablado y la música. A lo largo de los años se ha establecido que la música, desde el punto de vista científico, desempeña un papel significativo en el desarrollo de las personas, mejorando sus capacidades cognitivas, emocionales e incluso rigiendo parte de sus comportamientos. De hecho, algunos de los compositores más famosos del mundo, como Mozart o Brahms, desarrollaron composiciones de naturaleza sencilla, carácter relajante y ritmo lento, con cualidades potencialmente beneficiosas en las primeras etapas de la vida. Que haya una relación entre la respuesta a la música que percibimos y la voz de nuestra madre parece una hipótesis que merece la pena explorar.

La presente investigación aborda la respuesta fetal a los diferentes elementos musicales de la voz materna, y para llevarla a cabo, vamos a desarrollar en las sucesivas páginas algunos aspectos fisiológicos, obstétricos y metodológicos a tener en cuenta.

1.1. DESARROLLO NEUROLÓGICO Y PERCEPCIÓN FETAL.

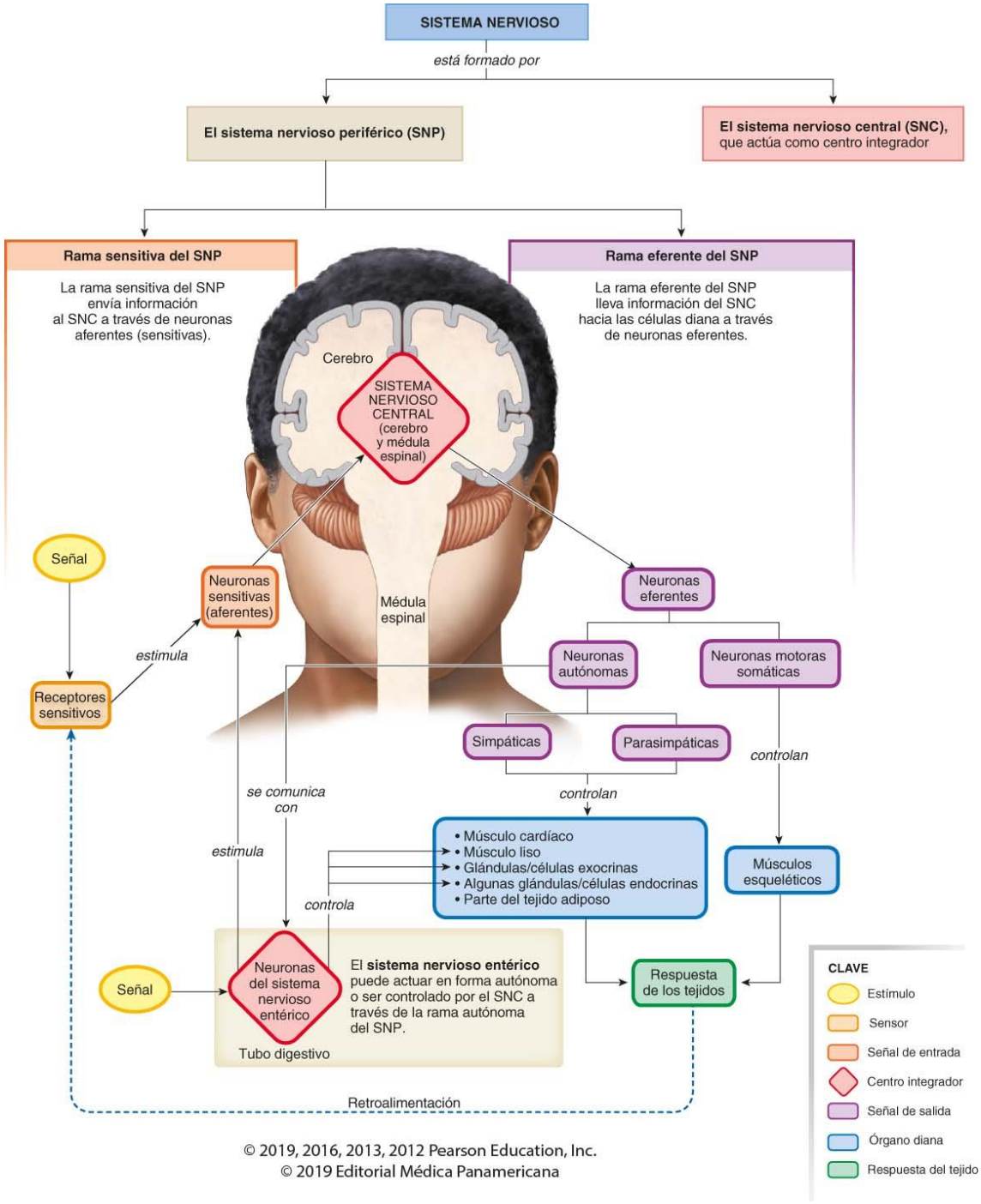
El desarrollo neurológico y la percepción fetal son dos aspectos fundamentales en el proceso de gestación. Durante este período, el sistema nervioso del feto va experimentando un crecimiento y maduración significativos, lo que le permite percibir y responder primariamente a estímulos del entorno. Siguiendo un esquema de fisiología (Hall et al., 2021) y embriología básicas (Sadler et al., 2019) el sistema nervioso central (SNC) y el sistema nervioso periférico (SNP) se desarrollan a partir del tubo y las crestas neurales, respectivamente, durante las primeras etapas de la gestación. La Fig. 1 ilustra este esquema fisiológico (Silverthorn, 2019).

El SNP se divide en los sistemas aferente y eferente. El sistema aferente, también conocido como sensorial, transporta información desde los receptores sensoriales periféricos hacia el SNC. Estos receptores detectan estímulos como el tacto, la temperatura y el dolor, y envían señales al cerebro y a la médula espinal para su procesamiento. Durante el desarrollo fetal, el SNC y el SNP se forman y comienzan a establecer las conexiones necesarias para el funcionamiento coordinado del cuerpo, preparando al feto para la vida fuera del útero.

El sistema eferente, o motor, lleva instrucciones desde el SNC hacia los músculos y glándulas del cuerpo. Este sistema se subdivide en el sistema nervioso somático, que controla los movimientos voluntarios de los músculos esqueléticos, y el sistema nervioso autónomo, que regula funciones involuntarias como la frecuencia cardíaca, la digestión y la respiración. El sistema autónomo se divide a su vez en los sistemas simpático y parasimpático, que trabajan en conjunto para mantener la homeostasis corporal.

Figura 1.

Esquema de la organización fisiológica sensitivo-motora. Tomado de Silverthorn D.U. Fisiología Humana. 2019. Un enfoque Integrado. Ed Panamericana.



Los períodos críticos y sensibles en el desarrollo encefálico se refieren a momentos específicos durante el desarrollo y crecimiento del cerebro en los que este órgano es especialmente receptivo a ciertos estímulos ambientales o experiencias. Durante estos períodos, el cerebro experimenta cambios significativos en su estructura y función, por lo que la estimulación a la que es sometido puede tener un impacto duradero en él,

desde el punto de vista cognitivo, emocional y social del individuo (Kandel et al., 2014; Purves, 2012). Son ventanas temporales de plasticidad, que permiten al encéfalo en formación hacer frente a exigencias ambientales y adaptarse a las condiciones desafiantes, que sobrepasan generalmente la barrera del nacimiento. Un período crítico implica una ventana de tiempo durante la cual la exposición a estímulos específicos es esencial para un desarrollo normal y acarrea consecuencias limitantes permanentes si se pierde; en cambio, un período sensible es una fase en la que el cerebro es especialmente receptivo a estímulos, pero la falta de ellos no tiene necesariamente un impacto irreversible en el desarrollo cerebral. Estos conceptos fundamentales de embriología se definieron por primera vez por Hubel y Wiesel para el sistema visual, en cambio, cuando se trata de investigar los periodos sensibles y críticos auditivos, su naturaleza impide establecerlos con precisión: se observa que la plasticidad disminuye con la edad, pero no desaparece completamente (Berent et al., 2007; Bustos Sánchez, 2003; James et al., 2002).

Peiper (Peiper, 1925) fue el primer autor en observar y registrar que el sonido emitido por la bocina de un automóvil a escasos metros de una mujer gestante al final de su embarazo producía movimientos fetales, en una proporción alrededor del 25-30% de las veces. Desde entonces no solamente sabemos que un feto en desarrollo oye, sino que el oído es el primer sentido especial en comenzar a funcionar (Einspieler et al., 2021; Sadler, 2019). Para que esto suceda anteriormente se han debido formar las estructuras anatómicas que lo componen, así como establecerse todos los circuitos neuronales que van a conducir los estímulos auditivos a los centros superiores del sistema nervioso.

1.1.1. Entorno auditivo fetal.

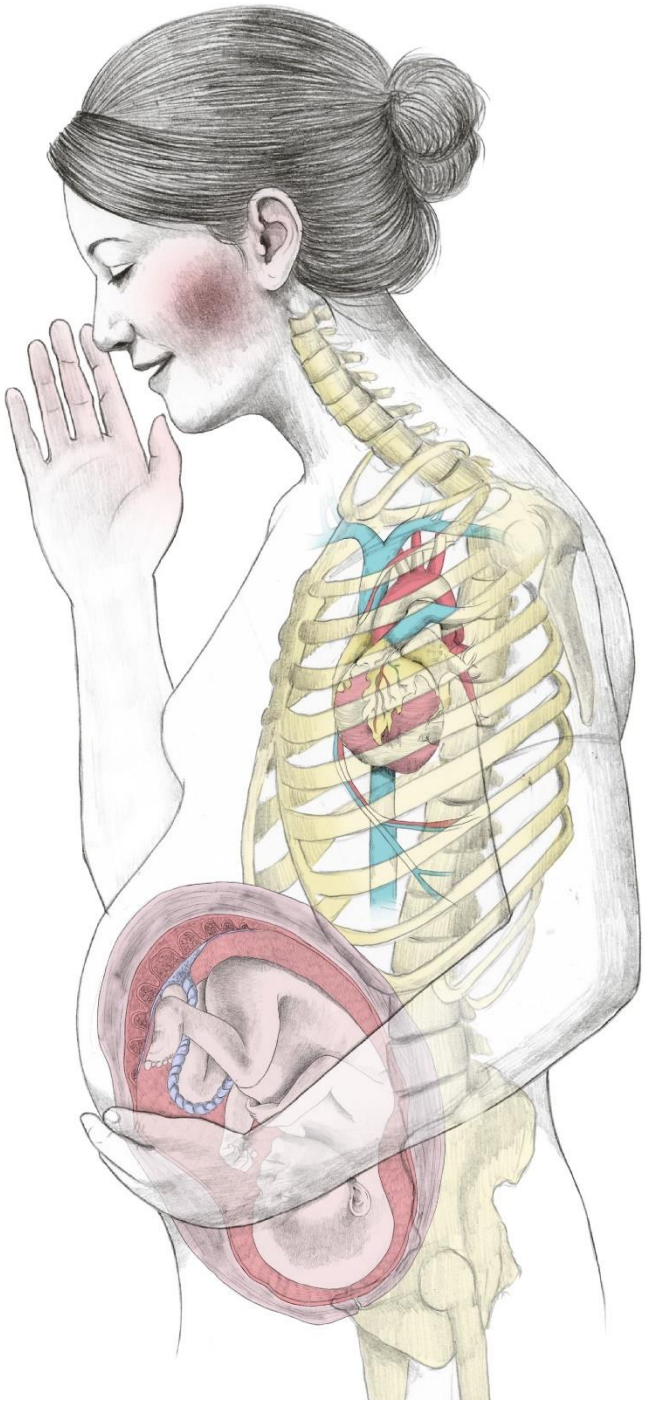
Debemos saber que del interior del cuerpo de la gestante surgen infinidad de sonidos, siendo los más relevantes su latido cardíaco, ventilación pulmonar, sonidos digestivos y la circulación sanguínea. Gracias a estudios previos (Arabin et al., 2016; Querleu et al., 1988) sabemos que este sonido basal intrauterino se encuentra en un rango de 28-94 decibelios (dB) y frecuencias < 500 Hercios (Hz). Para que podamos hacernos una idea con sonidos familiares en el ambiente extrauterino, un susurro tiene una intensidad de 20 dB y una conversación normal se encuentra en torno a 60-70 dB. Vemos, por tanto, que el cuerpo materno no es ni mucho menos un lugar silencioso, y que este ambiente intrauterino va a constituir una fuente de estimulación sonora perceptible por el feto las 24 horas del día.

Sin embargo, de entre todas las señales acústicas percibidas por el feto durante el embarazo, la voz materna va a ser la predominante y más importante vía de estimulación sensorial (Alabbasi et al., 2023; Gerhardt et al., 2000; Krueger et al., 2010, 2015). El médico francés Alfred Tomatis (Tomatis, 1990) postuló que la audición del feto en el vientre materno se produce prácticamente a través de la conducción ósea de la madre (Fig. 2). El esqueleto materno va a comportarse como un modulador de frecuencias, que va a transmitir de manera amplificada aquellas que son más altas, es decir, las más parecidas a la voz materna, ya que, aunque poseen mayor atenuación son mejor transmitidas, al producir menos interferencias con los ruidos internos. La voz materna va a viajar desde sus cuerdas vocales en forma de onda vibratoria por toda su columna vertebral hasta llegar a la pelvis, que va a comportarse como una caja de resonancia. Además, al final del embarazo este proceso también se ve magnificado gracias al descenso del cráneo fetal en la pelvis materna. Todo esto hará que la voz de la madre se escuche dentro del útero con una intensidad hasta 4 veces superior que fuera(Teie, 2016). Sin embargo, las voces del exterior van a ser amortiguadas acústicamente y, por tanto, su papel en la estimulación auditiva fetal quedará relegado a un segundo plano (Brosch, 2000; DeCasper et al., 2011). De este modo, la voz de la madre ya sea en forma de habla o en el canto, supondrá una fuente de estimulación prenatal constante para el feto (Granier-Deferre et al., 2011; Jahn et al., 2016).

Durante la gestación, las membranas que rodean al feto constituyen una atmósfera envolvente, por la que los tejidos de la pared abdominal de la gestante y el líquido amniótico van a interferir en la transmisión de los sonidos que provienen del exterior. De este modo, van a actuar disipando aquellos sonidos de frecuencias más altas (> 500 Hz) y atenuando los niveles de decibelios hasta un máximo de 20-35 dB (Gerhardt et al., 2000; Krueger et al., 2015). Por tanto, serán necesarias frecuencias menores de 500 Hz e intensidades de al menos 50-60 dB para poder ser discriminadas. Tal y como hemos comentado, en humanos una conversación normal se encuentra en torno a unos 60-70 dB, que, con la atenuación de 30 dB citada, hará que este sonido sea percibido por el feto como una conversación en voz baja (Arabin et al., 2016). En los adultos, el rango normal de frecuencias que pueden ser percibidas oscila entre 20 y 20,000 Hz. Sin embargo, los fetos de 25-27 semanas de gestación responden en primer lugar a bajas frecuencias (250-500 Hz), y probablemente sean incapaces de detectar frecuencias por encima de estos valores hasta la semana 29, donde ya responderían a frecuencias de 1000-3000 Hz. (Chorna et al., 2019; Gerhardt et al., 2000; Grant-Beuttler et al., 2011).

Figura 2.

Transmisión del sonido de la voz materna a través del esqueleto materno. Ilustrado por Noelia Fernández Mayor a partir de la interpretación de la autora del presente trabajo de Tesis Doctoral de los postulados de Alfred Tomatis (Tomatis, 1990).



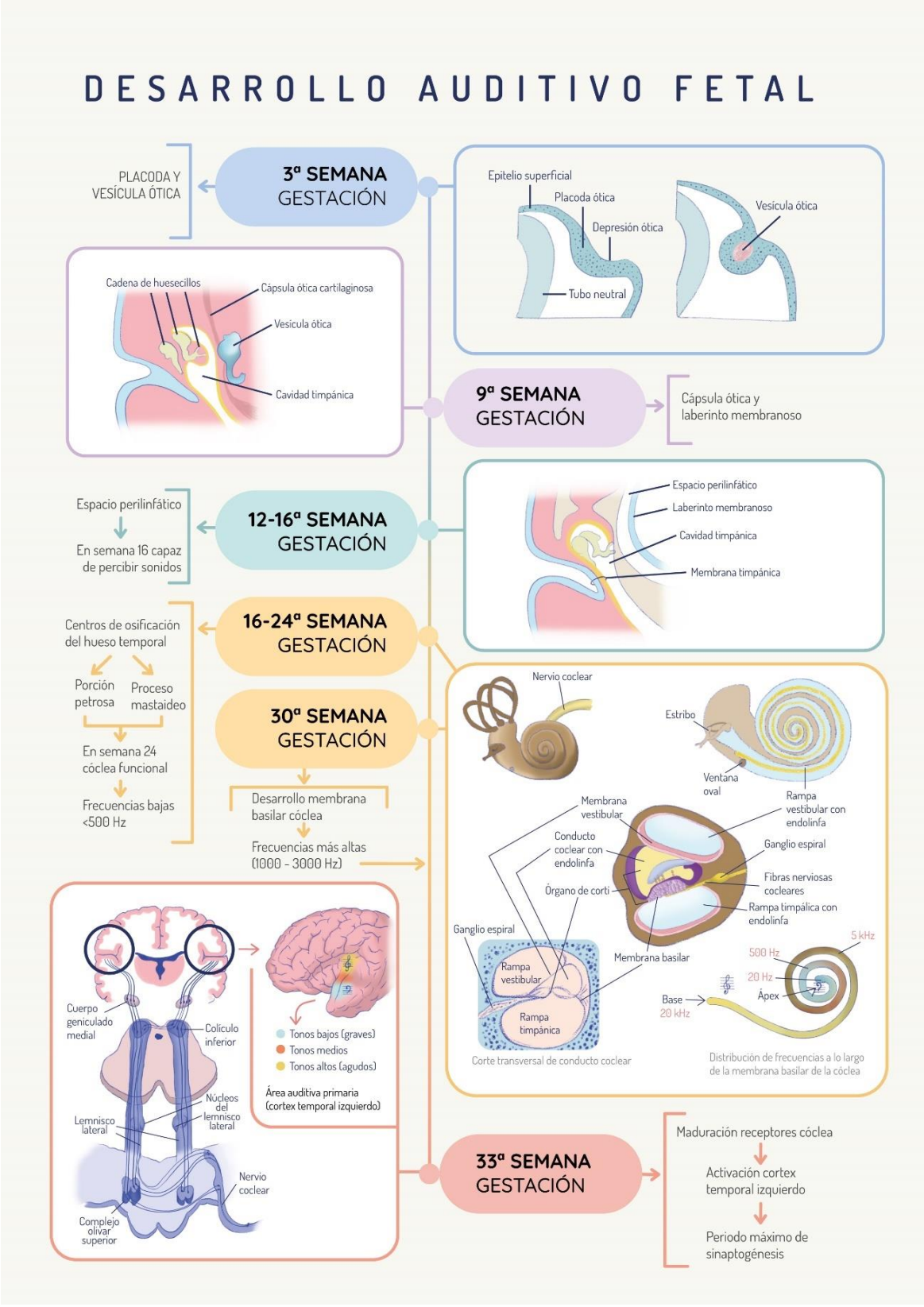
1.1.2. Sistema aferente auditivo fetal.

En el feto la audición es el primer sentido especial en comenzar a funcionar. La Fig. 3 ilustra el cronograma de los hitos fisiológicos más importantes del desarrollo auditivo fetal. Alfred Tomatis, en 1981, fue el primero en describir que, en la semana 16 de gestación, el feto era capaz de escuchar; y no sólo a través del sistema auditivo, sino también a través del córtex y el sistema vestibular (Tomatis, 1990). Fue en 1983 cuando Birnholz y Benacerraf detectaron mediante ultrasonografía en fetos de 24 semanas las primeras respuestas a un estímulo externo(Birnholz et al., 1983). Desde entonces, diversos autores (Fifer et al., 1994; Jankovic-Raznatovic et al., 2014; Jardri et al., 2012; Plesinac et al., 2014) han descrito el desarrollo del sistema auditivo fetal, observando que tan sólo en la tercera semana de gestación ya se han formado la placoda y vesícula ótica, que se elongan durante las dos siguientes semanas de embarazo. A la novena semana de gestación aparecerán los condrocitos a través del mesénquima que rodea al laberinto membranoso, lo que se conoce como cápsula ótica (Plesinac et al., 2014). Posteriormente, entre las semanas 12 y 16, la cápsula adyacente al laberinto membranoso comenzará a formar una cavidad (espacio perilinfático) alrededor del laberinto membranoso, que se llenará de perilinfa. En este momento el feto ya es capaz de percibir y responder ante estímulos sonoros(Busnel et al., 1992; Kandel et al., 2014; López-Teijón et al., 2015).

Entre las semanas 16 y 24 aparecen los centros de osificación y forman la porción petrosa del hueso temporal, que continúa su osificación para formar el proceso mastoideo del hueso temporal. De este modo, la cóclea sería funcional alrededor de la semana 24 de gestación (Moon et al., 2013). Hacia el final del segundo trimestre, los fetos responden en primer lugar a frecuencias bajas (250-500 Hz); posteriormente, sobre la semana 30 de embarazo, comienzan a responder a frecuencias más altas, en torno a los 1000-3000 Hz (Chorna et al., 2019). De este modo, a medida que el sistema auditivo se desarrolla durante las últimas semanas de gestación, el feto se vuelve progresivamente más receptivo a los tonos agudos, lo cual es consistente con el desarrollo de la membrana basilar de la cóclea, desde frecuencias bajas a altas. Por su parte, los umbrales de detección y latencias de respuesta disminuyen con el tiempo, a medida que el sistema auditivo madura (Hepper, 1996; Moon et al., 2013). En último lugar se producirá la maduración de los receptores de la cóclea y es aquí cuando tendremos el pico funcional máximo de desarrollo auditivo, coincidiendo con la activación del córtex temporal izquierdo en respuesta al sonido, que se puede medir a partir de la semana 33 de gestación (Jardri et al., 2012).

Figura 3.

Cronograma del desarrollo auditivo fetal. Ilustrado por Noelia Fernández Mayor a partir de la interpretación de la autora del presente trabajo de Tesis Doctoral.



En el área auditiva primaria los sonidos agudos se perciben en la región posteromedial, mientras que los sonidos graves lo harán en la porción antero-lateral del plano temporal, por lo tanto, se mantendrá la organización tonotópica de la membrana basilar. Así, el período máximo de sinaptogénesis comienza a las 34 semanas y continúa hasta bien entrada la vida posnatal. (Chorna et al., 2019; Jardri et al., 2012)

1.1.3. Sistema aferente somestésico fetal.

La distinción entre la percepción auditiva fetal y la somestésica es compleja de determinar a lo largo de todas las etapas del desarrollo embrionario si consideramos sólo técnicas no invasivas, debido a la naturaleza física del sonido y de la gestión auditiva por parte de nuestro sistema nervioso central.

El sistema somatosensorial, encargado de regular entre otros el tacto, la propiocepción y la nocicepción, se desarrolla según un patrón cefalocaudal. Está documentado que los receptores neuronales libres se pueden encontrar en la boca del feto de forma tan precoz como a las 8-9 semanas de gestación(Lecanuet et al., 1986). Posteriormente, en la semana 11, se desarrollarán los receptores táctiles que se encuentran en la cara, las palmas de las manos y las plantas de los pies. Los encontraremos en el tronco y zonas proximales de brazos y piernas en la semana 15 y en toda la piel en torno a las 20 semanas de gestación(Humphrey, 1970; Lecanuet et al., 1986).

Además, los sistemas somestésico y vestibular generalmente están co-estimulados, principalmente por los movimientos fetales y maternos. Su función está tan ligada que es muy difícil determinar hasta qué punto cada sistema contribuye a una respuesta fetal. Aunque el líquido amniótico amortigua en cierta medida el impacto de los movimientos maternos, el feto está expuesto a un gran número de contactos y desplazamientos a medida que avanza la gestación. Estos contactos pueden establecerse tanto con la pared uterina, como consigo mismo, por ejemplo, con el contacto mano-cara, mano-cuerpo, o mano-boca (Lecanuet et al., 1992).

1.1.4. Sistema eferente motor.

La evaluación dinámica del comportamiento fetal supone un reflejo de los procesos de desarrollo y maduración del sistema nervioso central, ofreciéndonos la ventaja de poder analizar en tiempo real los movimientos y expresiones faciales fetales. Gracias al análisis intraútero de este comportamiento, y estableciendo una serie de patrones y movimientos que se corresponden con la normalidad, podemos establecer la diferencia entre un desarrollo motor normal o patológico, e incluso constituir un pilar para el diagnóstico precoz de trastornos neurológicos que se manifiestan en el período perinatal (Lebit et al., 2011). Además, debido al perfeccionamiento de la ecografía 4D, en los últimos años se ha producido un conocimiento cada vez mayor del desarrollo neurológico y motor fetal (Hata, 2016). De este modo, en nuestro país se están realizando estudios que podrían dar información acerca del pronóstico y manejo de fetos con diagnóstico prenatal de mielomeningocele, permitiendo la evaluación de la función neurológica fetal. Resultados preliminares parecen demostrar que el nivel neurológico de la lesión puede ser evaluado prenatalmente, gracias a la ultrasonografía 3D-4D, y que existe correlación postnatal con el nivel de lesión (Carreras et al., 2016).

Hasta el momento no había ningún método capaz de evaluar de forma prenatal el correcto desarrollo y funcionamiento del sistema motor. Sin embargo, actualmente gracias a la ecografía 4D somos capaces de conocer cada vez más de cerca el comportamiento y movimientos fetales, que están directamente relacionados con su desarrollo neurológico (Hata, 2016; Kadic et al., 2018; Lebit et al., 2011).

1.1.4.1. Movimientos fetales y expresiones faciales.

En el primer trimestre de gestación los movimientos fetales serán más primitivos y poco coordinados. A partir de la 7-8 semanas de embarazo comienzan a producirse movimientos groseros de cuerpo, conocidos como movimientos vermiculares, y que incluyen la flexo-extensión de tronco, acompañados de movimientos pasivos en extremidades inferiores (Lebit et al., 2011). En torno a la semana 10 encontramos movimientos aislados de extremidades; y, ya hacia el final del primer trimestre, empiezan a producirse movimientos de salto y movimientos de cabeza, como rotación, anteflexión y retroflexión cefálica (Hata, 2016; Kadic et al., 2018; Lebit et al., 2011). El grupo de Hata describió que el movimiento más frecuente en la 10-11 semanas de

gestación era el movimiento de brazo aislado; y en las semanas 12-13 el movimiento de salto, debido a la diferenciación del sistema neuromuscular (Hata, 2016). También, en el primer trimestre, se produce un aumento de movimientos conforme avanza la edad gestacional.

Al principio del segundo trimestre se pueden observar hasta 16 tipos de movimientos fetales, incluyendo las primeras expresiones faciales, ya que es en este momento cuando se ha desarrollado la musculatura facial y los nervios trigémino y facial (Grigore et al., 2018). La segunda mitad del embarazo se caracteriza por una organización gradual de los patrones de movimiento y la aparición de ciclos de descanso-actividad, en los que los períodos de descanso comienzan a incrementarse (Kadic et al., 2018). A partir de este trimestre, los movimientos se vuelven más complejos y finos, realizando ya movimientos mano-cara orientados y con intención de lateralidad, así como movimientos más precisos de dedos (Lebit et al., 2011).

Además, la mayoría de los autores describen un aumento tanto en la frecuencia como complejidad de movimientos sobre todo en el segundo trimestre, que es cuando más aumenta el espectro de movimientos. De hecho, existe evidencia de acciones intencionales de las manos a las 22 semanas, con patrones cinemáticos que sugieren el inicio de cierta planificación motora fetal (Zoia et al., 2007). Curiosamente, la mayoría de los estudios de los movimientos fetales atribuyen los movimientos de los brazos sólo a la función de alcance y los de las piernas a la función de desplazamiento, a pesar de la dificultad para la determinación de la direccionalidad de los movimientos fetales. En consecuencia, es posible que algunos movimientos de las piernas tengan el objetivo de alcanzar y algunos movimientos de brazos se dediquen a dar un paso (Provasi et al., 2014).

Todos estos movimientos se considerarán normales cuando sean sincronizados, fluentes y con cierta complejidad y variabilidad. Los movimientos deben incluir tronco, cabeza y extremidades en su conjunto, y variar de amplitud, así como una duración de al menos 20 segundos. En cambio, movimientos con poca amplitud, asimétricos, repetitivos o caóticos, y aquellos que muestren rigidez o contracciones tónicas, han sido descritos como signos precoces de un incorrecto desarrollo neurológico fetal (Kurjak et al., 2008; Lebit et al., 2011).

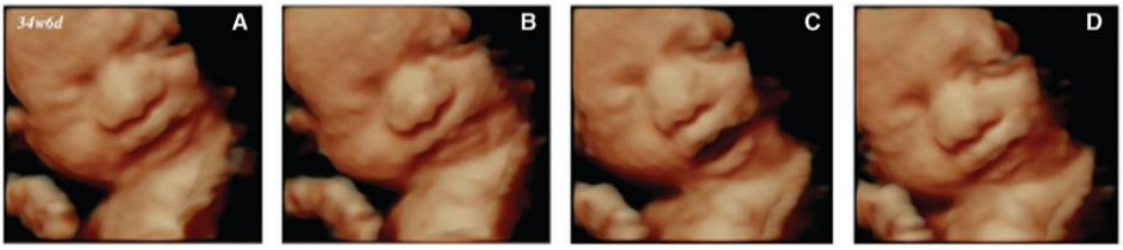
Al igual que en el análisis de los movimientos globales**,** las expresiones faciales fetales son indicativas de un correcto desarrollo neurológico fetal. Gracias a la ecografía 4D, somos capaces de evaluar la anatomía facial en movimiento, comprobando cómo los fetos muestran un amplio espectro de expresiones faciales, de forma similar a la

expresión emocional de los adultos. Los movimientos faciales, controlados por los nervios craneales V y VII, aparecen alrededor de las 10- 11 semanas de gestación(Reissland et al., 2016a, 2016b). De este modo, en torno a estas semanas ya se pueden observar movimientos espontáneos de mandíbula. Pero, es a partir de la semana 15, cuando se comienzan a observar las primeras expresiones faciales fetales, como apertura de boca, bostezo, hipo, chupeteo y deglución (Kadic et al., 2018). Así mismo, entre las semanas 16-18 empezarán incluso a diferenciarse movimientos oculares, que se hacen más frecuentes y sistemáticos al final del segundo trimestre(Lebit et al., 2011).

Diversos estudios revelan que la expresión espontánea más frecuente en el segundo trimestre es la de apertura de la boca (véase Fig. 4), seguida del bostezo(Hata, 2016; Kanenishi et al., 2013); aunque otros autores refieren que son el parpadeo, las muecas y movimientos de succión y deglución (Kadic et al., 2018).

Figura 4.

Movimiento de apertura de boca mediante ecografía 4D HDlive. Imágenes consecutivas A-D. (Aboellail et al., 2017).



Pero, si en algo coinciden la mayoría de las publicaciones, es que las expresiones faciales presentan un pico de máxima frecuencia hacia el final del segundo trimestre, para después producirse una disminución o estancamiento de las mismas en el tercer trimestre, excepto en el movimiento de parpadeo, cuya frecuencia parece aumentar a partir de la semana 23 (Lebit et al., 2011). Esta reducción de la periodicidad de movimientos es debida a un aumento en el descanso fetal, que, como hemos comentado anteriormente, supone un reflejo de la maduración cerebral. También es importante comentar, que los movimientos que implican a la boca, especialmente en ausencia de otros movimientos, reflejan un desarrollo neurológico normal fetal (Kanenishi et al., 2013; Stanojevic et al., 2002). Además, es trascendental analizar de forma meticulosa todos los aspectos de las expresiones faciales, como puede ser la simetría de las

comisuras en la sonrisa, que serán signos que nos ayuden a descartar una parálisis facial; así como los movimientos de apertura de boca seguidos de movimientos de lengua o laringe, que implican deglución y nos permitirán detectar patologías como la atresia esofágica (Lebit et al., 2011).

Existe diferencia entre las inervaciones voluntarias y emocionales de la cara, que están controladas por distintas neuronas motoras superiores. Así, las manifestaciones faciales en un contexto social pueden regularse a través de la actividad cortical; mientras que los movimientos emocionales genuinos, como las muecas, no suelen controlarse conscientemente (Reissland et al., 2016a, 2016b). De hecho, aunque vemos que la mayoría de las expresiones faciales emocionales están presentes de forma muy precoz en la vida fetal, otras emociones simples, como la sonrisa social, ocurrirán únicamente cuando comience su relación con el medio socia(Reissland et al., 2016b).

Con respecto a la continuidad del patrón de comportamiento desde la vida prenatal hasta la posnatal, todos los movimientos observados en la vida fetal también es posible identificarlos en la vida neonatal. De este modo, los movimientos fetales y neonatales más frecuentes son el parpadeo de los ojos, la boca, las muecas, el movimiento mano-boca y los movimientos de la mano a la cara (Hata, 2016; Kurjak et al., 2008). Además, al final de la gestación, los movimientos rítmicos de la boca, como la succión y chupeteo se consideran equivalentes a los “movimientos de succión espontáneos” y “succión no nutritiva”, términos usualmente utilizados para los recién nacidos (Provasi et al., 2014).

En resumen, la evaluación de los movimientos y expresiones faciales fetales, como la apertura de los ojos, la variedad de las expresiones faciales, los reflejos primarios y la armonía en los movimientos generales, pueden ponernos alerta para sospechar problemas neurológicos (Lebit et al., 2011). Incluso, la identificación de patrones dinámicos y estáticos de los síntomas puede ser útil para datar con precisión el momento en que ocurre el insulto, como en fetos con restricción de crecimiento. El principal problema en el estudio del comportamiento fetal es que requiere de una cantidad significativa de tiempo por cada exploración, así como ecógrafos con posibilidad de capturar imágenes 4D por lo que, por el momento, no se ha convertido en un examen de rutina en la exploración ecográfica fetal en gestaciones de bajo riesgo.

1.1.5. Integración sensitivo-motora.

La sincronización sensoriomotora se define como la capacidad de combinar un patrón motor rítmico con un ritmo percibido externamente. Esta cualidad es única de las especies con capacidad de aprendizaje vocal, y parece jugar un papel fundamental en las interacciones sociales (Provasi et al., 2014). De este modo, la comunicación podría empezar sin necesidad de señales complejas, ya que el mensaje comunicativo se puede transmitir únicamente con la sincronización entre el comportamiento motor y una señal auditiva rítmica.

En el feto, se ha sugerido que los movimientos de apertura bucal y protrusión de la lengua que éste realiza en respuesta a estímulos auditivos podrían representar un inicio de la función de comunicación (López-Teijón et al., 2015; Reissland et al., 2016a, 2016b). Pero existe una progresión en la complejidad de esta integración auditivo-motora, que comienza con movimientos fetales espontáneos en respuesta al sonido, y culmina con la preferencia hacia la voz de la madre. Este hecho refleja los eventos de maduración que tienen lugar en el tronco encefálico, que contiene los núcleos y vías implicados en los movimientos bucales y la fonación; seguido del desarrollo de estructuras del prosencéfalo. Estos sistemas establecerán conexiones sinápticas con los núcleos auditivos, que ya se pueden identificar en la octava semana (Eggermont, 1992; Kadic et al., 2018; López-Teijón et al., 2015).

De este modo, el feto podrá alterar el patrón, la frecuencia y la coordinación del movimiento en respuesta a los estímulos sensoriales, mientras que el procesamiento de información de esta experiencia y el aprendizaje motor podrán contribuir al desarrollo motor prenatal normal.

1.1.6. Evaluación del desarrollo neurológico y motor normal.

La evaluación del desarrollo motor del feto puede hacerse desde el punto de vista clínico, anatómico o funcional. Clínicamente, la valoración fetal de los movimientos corporales, oculares y respiratorios y el latido cardíaco permite definir estados de conducta o comportamiento fetal. Se ha descrito que a partir de la semana 25 de gestación, la ultrasonografía fetal permite definir 4 estados fetales concordantes con los descritos en neonatos (Huche et al., 2004; Patel, 2008). Se ha demostrado que los

aspectos cuantitativos son importantes, pero también las características peculiares del tipo de conducta, cuando se tiene por objetivo una identificación temprana rigurosa de la afectación neurológica.

Hasta la introducción de técnicas de evaluación funcional del feto, la actividad fetal ha estado minusvalorada en favor de la relevancia de los factores ambientales y el sobredimensionando el componente genético. Esta circunstancia tiene como consecuencia la demora en estrategias de intervención en los casos que así lo exigen, entre los que destacan todos aquellos relacionados con deprivación auditiva, intoxicación sonora, sordera, alteraciones del control motor fino o alteraciones cognitivas, como consecuencia de una alteración en la sinergia perceptiva entre diferentes sistemas sensoriales. Por esto, estudios de comportamiento fetal complementarían para abordar la fisiopatología fetal de forma más completa.

De este modo, en la actualidad se han desarrollado varias escalas de movimientos codificados para la evaluación neuro-conductual fetal, entre las que destacan el *"Kurjak´s Antenatal Neurodevelopmental Test"* (KANET) (Kurjak et al., 2008) y el *"Fetal Observable Movement System"* (FOMS) (Reissland et al., 2016a); que, mediante una puntuación, van a ser capaces de reflejar el desarrollo neurológico normal o anormal del feto, así como facilitar evaluaciones más precisas de su comportamiento motor y del sistema nervioso central.

En el año 2008 Kurjak y cols.(Kurjak et al., 2008) fueron los primeros en proponer un nuevo sistema de puntuación (KANET) para la evaluación prenatal del estado neurológico fetal, utilizando ecografía 4D, basándose en el concepto de que los patrones de comportamiento fetal reflejan directamente los procesos de desarrollo y maduración del cerebro fetal y el sistema nervioso central.

En esta escala se analizan 8 tipos de movimientos: anteflexión aislada de la cabeza, suturas craneales y circunferencia cefálica, parpadeo de ojos aislado, alteración facial o apertura de la boca, movimiento de piernas aislado, movimientos aislados de mano o mano-mano, movimientos de los dedos y percepción de movimientos generales. Para asegurar la validez de este test, Kurjak realizó un estudio en 100 gestaciones de bajo riesgo y 120 de alto riesgo a las que realizó una ecografía en 4D durante 30 minutos y puntuó con un score mediante su sistema KANET (*abnormal, borderline & normal*). Posteriormente, al nacimiento, se evaluó a los recién nacidos mediante el test ATNAT (*Amiel-Tison Neurological Assessment at Term*), clasificando a los recién nacidos en los grupos normal, moderadamente anormal o anormal. Como resultados, se encontró que en el grupo de gestaciones de bajo riesgo todos los neonatos obtuvieron la categoría de

normal tanto con el test ATNAT como con KANET. Por otra parte, en las gestaciones de alto riesgo, 10 de los fetos se clasificaron postnatalmente como moderadamente anormal o anormal. Estos 10 fetos presentaban puntuaciones en el sistema KANET de 0 a 5 (anormal) (Kurjak et al., 2012, 2017; Stanojevic et al., 2002).

Además, curiosamente en este estudio también se evidenció que, en las gestaciones de alto riesgo con restricción de crecimiento intrauterino (fetos CIR), una gran proporción de estos fetos que presentaban puntuación KANET borderline o anormal, aún presentaban una circulación cerebral normal cuando se midió el índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media. Este fenómeno sugiere que, en el progreso de los eventos fisiopatológicos, las alteraciones del comportamiento fetal por insuficiencia feto-placentaria ocurrirían antes que la redistribución placentaria evaluada por Doppler(Athanasiadis et al., 2013; Honemeyer et al., 2013; Kurjak et al., 2010, 2017; Miskovic et al., 2010).

En cuanto al sistema FOMS (*The Fetal Observable Movement System),* su principal diferencia con el sistema KANET es que se centra más en el análisis de las expresiones faciales, los movimientos cefálicos y los movimientos de “auto-toque” fetal. En este sistema cada movimiento individual anatómicamente distinto está codificado, lo que facilita la estandarización del movimiento facial fetal (Reissland et al., 2016a). De este modo, podríamos decir que el sistema FOMS es más sensible a las expresiones faciales y cambios de comportamiento sutiles que KANET, que se enfoca en el comportamiento motor grosero.

Independientemente de la evaluación del desarrollo motor gracias al sistema FOMS y KANET, existen diversas publicaciones que relacionan el comportamiento motor fetal con el neurodesarrollo. Un ejemplo de ello es que se ha documentado que fetos con restricción del crecimiento intrauterino (CIR) muestran una tendencia a presentar menos actividad conductual en todos los patrones de movimiento y expresiones faciales observados, cuando los comparamos con fetos sin restricción de crecimiento (Andonotopo et al., 2005, 2006).

También se ha encontrado que fetos de madres fumadoras, presentan mayor número de movimientos de apertura de boca, comparados con aquellos de madres no fumadoras (Reissland et al., 2003, 2016b). Así mismo, varios autores investigaron los patrones de comportamiento fetal con ecografía 4D en fetos con anencefalia, objetivando también una disminución en todas las frecuencias de los patrones de movimiento. Además, casi no se evidenciaron movimientos de las extremidades inferiores ni expresiones faciales (Andonotopo et al., 2006).

Por tanto, a través de la literatura científica podemos inferir la utilidad de la evaluación de los movimientos y el comportamiento fetal mediante ecografía 4D en el proceso diagnóstico de diversas patologías fetales, así como en la valoración pronóstica de las mismas.

1.2. ESTIMULACIÓN PRENATAL.

Para intentar comprender y analizar de forma adecuada la respuesta fetal ante los estímulos debemos conocer el concepto de estimulación prenatal, que es aquel proceso que nos brinda información acerca del bienestar fetal y es capaz de promover su aprendizaje, fomentando su desarrollo sensorial, afectivo, físico y social a través de diferentes estímulos, como puede ser el sonido (Moon et al., 2000, 2011). Existen diversos tipos de estímulos utilizados en la literatura con objeto de producir una respuesta fetal. Los principales estudios acerca de la estimulación prenatal utilizan la música y la voz materna para el objeto de sus investigaciones, aunque la estimulación táctil y vibroacústica (VAS) también constituyen un amplio campo de estudio.

La estimulación vibroacústica (VAS) se trata de un método simple de estimulación fetal, mediante un dispositivo que se coloca sobre el abdomen materno, que combina la vibración abdominal con la estimulación acústica. La VAS ha sido utilizada a lo largo de los años de forma experimental para evaluar el comportamiento motor fetal, siendo otra herramienta para estudiar la madurez neurológica fetal. La mayoría de los estudios han encontrado un aumento significativo de los movimientos fetales justo después de la VAS, sobre todo produciendo movimientos incoordinados y más inmaduros, como respuesta a un estímulo nuevo e inesperado (Grant-Beuttler et al., 2011; Kisilevsky et al., 2004; Ogo et al., 2019), aunque en gran parte de ellos no han sido evaluados aspectos importantes como la seguridad y los resultados perinatales después de la VAS.

Sin embargo, junto con la voz materna, la música supone un estímulo clave durante el período fetal. En nuestro día a día estamos expuestos de forma continuada a música, sin ser en muchas ocasiones conscientes. Lo mismo ocurre en nuestro período de vida intrauterina. Debemos reseñar el rol sustancial que desempeña el oído en la supervivencia de nuestra especie, incluso por encima de otros sentidos. A lo largo de los tiempos, el comienzo de la música ha sido vinculado al desarrollo del lenguaje, ya que comparten multitud de elementos cognitivos. De este modo, hay autores que proponen que la música apareció posteriormente (Patel, 2021) y otros autores que defienden que fueron simultáneos (Brown, 2017). Sin embargo, en los últimos años se ha retomado la idea de que la música surgió como una forma de comunicación emocional, como ya adelantó Darwin (Darwin, 1872). Hay evidencia de que la capacidad de los recién nacidos para responder a la música y procesarla está influenciada por la

exposición al sonido durante el último trimestre de gestación (Chorna et al., 2019; Teie, 2016). De este modo, aquellos expuestos prenatalmente a la música y con una exposición mínima después del nacimiento, ya muestran, en los primeros días de vida, respuestas fisiológicas a la música, incluidas reacciones a patrones rítmicos y tonales básicos. De hecho, se ha estudiado que recién nacidos extremadamente prematuros que fueron expuestos a sonidos maternos tenían una corteza auditiva significativamente más grande en comparación con los bebés del grupo control que solo recibieron atención estándar (Webb et al., 2015). Por este motivo, cuando un recién nacido lo hace de forma prematura, el hecho de haber estado expuesto en menor medida a esta fuente de estimulación prenatal podrá influir en su neurodesarrollo.

En cambio, en comparación con la estimulación musical externa, la voz materna se ve menos influida por factores exógenos, ya que su voz es conducida a través del diafragma y la pelvis, que amplifican las vibraciones. Por este motivo, una interesante forma de comunicación acústica entre madre e hijo se representa con el habla y el canto materno durante el embarazo. En este sentido, se ha demostrado que las canciones de cuna o nanas son preferibles al resto de estimulación sonora (Chorna et al., 2019; Persico et al., 2017), debido a que son repetitivas, de naturaleza relajante, de estructura simple y de ritmo lento, todas ellas propiedades beneficiosas para el feto.

La exposición prenatal a la voz materna parece producir cierto grado de plasticidad neurológica y de aprendizaje a largo plazo, aunque el estímulo materno no parece influir en el crecimiento cerebral, sino en la plasticidad de la corteza auditiva. También se ha visto la activación del hemisferio izquierdo en respuesta al habla normal, en comparación con palabras invertidas o con el silencio (DeCasper et al., 1986; Kisilevsky et al., 2004; Peña et al., 2019). Dado que estas respuestas son evidentes poco después del nacimiento, es razonable postular que los fetos deberían mostrar cierto reconocimiento a las voces humanas y patrones de habla cuando se exponen en el útero.

En 1925 Peiper describió por primera vez el fenómeno de “habituación fetal”, que, como ya hemos comentado anteriormente, descubrió que el sonido de la bocina de un automóvil cerca de una gestante producía movimientos en el feto; pero que, además, conforme este sonido se repetía, la respuesta fetal al mismo disminuía o incluso desaparecía (Peiper, 1925). Posteriormente, en 1982, Leader documentó este mismo hecho mediante ultrasonografía (Leader et al., 1982). Estos hallazgos sentaron las bases del concepto de la habituación fetal: un proceso por el que se produce una disminución en la velocidad de respuesta a un estímulo cuando éste se genera

repetidamente, o bien durante un tiempo prolongado, y se desarrolla entre las semanas 22-24 de gestación (Gonzalez-Gonzalez et al., 2006; Hepper, 1996; Leader et al., 1982; Peiper, 1925).

La habituación fetal se considera una forma básica de aprendizaje y constituye una forma de adaptarse al entorno (Hepper et al., 2012; Leader et al., 1982). Aunque inicialmente se propuso que la habituación del feto era una respuesta refleja a nivel del tronco encefálico, estudios posteriores han llegado a la conclusión de que esta respuesta involucra elementos del funcionamiento cognitivo y procesamiento de información a nivel de la corteza (Hepper et al., 1994). De hecho, el uso de la respuesta de habituación del feto para dilucidar aspectos de la memoria a corto y largo plazo, indica que están involucradas funciones cerebrales de nivel superior (Dirix et al., 2009).

Todo ello sugiere que las respuestas fetales no son meramente reactivas, sino que representan una cierta discriminación asociada a la memoria y al aprendizaje con una proyección evolutiva de supervivencia. La interacción del feto con los diferentes estímulos a los que se ve expuesto durante toda la gestación sentarán las bases de unos circuitos neuronales que, aunque tengan su pico máximo de desarrollo a los 6 meses de vida, condicionarán muchos aspectos de su desarrollo cognitivo, como puede ser el lenguaje o incluso las habilidades musicales (Arabin et al., 2016; Berent et al., 2007). Por consiguiente, podemos comprender que el feto no solo tenga la capacidad de oír, sino también aprender y responder en consecuencia.

En la actualidad existen diferentes dispositivos con el objetivo de producir una estimulación auditiva fetal, como pueden ser altavoces o cinturones musicales, con resultados cuestionables, ya que, como hemos visto, el sonido no atraviesa como si tal las barreras tisulares, y además no permiten asegurar las condiciones de seguridad fetal (Arabin et al., 2016; Jahn et al., 2016). En cambio, se han desarrollado otros dispositivos intravaginales de estimulación musical prenatal, que, al estar situados en la vagina, más cerca del feto, logran una mayor calidad de sonido, evitando la atenuación que se produce cuando éste se emite desde el exterior y siempre bajo condiciones de seguridad fetal (Graven, 2000; Jahn et al., 2016; López-Teijón et al., 2015).

En este sentido, en el mundo actual las gestantes se ven sometidas de forma continua a sonidos de altas intensidades. Las recomendaciones por el Grupo de Estudio del Sonido (Graven, 2000) alegan que las mujeres gestantes deben evitar exposiciones prolongadas a sonidos de baja frecuencia (<250 Hz) por encima de 65 dB durante el embarazo, ya que diversos estudios han demostrado que la exposición a sonidos continuos e intensos, a rangos de dB y de frecuencia distintos a los normalmente

escuchados por el feto, puede ser potencialmente dañina y estar relacionada con desórdenes del comportamiento o del desarrollo de la percepción y sensitivo-conductual en el recién nacido (Einspieler et al., 2021; Ray et al., 2005; Jahn et al., 2016). Por tanto, es importante ser conscientes de que esta exposición repetida puede repercutir en el desarrollo del feto e incluso alterar sus habilidades cognitivas en el período postnatal.

1.3. ELEMENTOS MUSICALES DE LA VOZ.

Para comprender el objeto de esta tesis doctoral debemos saber que la música y el lenguaje tienen varios aspectos en común, ya que ambos son sonidos con una base prosódica, que quedan definidos por cuatro parámetros: tono, duración, intensidad y timbre (Amor Sánchez, 2016; Gallo et al., 2008).

- El tono viene determinado por el número de vibraciones por segundo que produce un determinado objeto, esto es, la frecuencia, cuya unidad es el hercio (Hz). Esta cualidad nos permite clasificar un sonido como agudo o grave.
- La duración es el tiempo que permanece el sonido en nuestro oído. La produce la persistencia de la onda sonora y se mide en segundos. De este modo podremos diferenciar entre una velocidad rápida, normal o lenta.
- La intensidad es el volumen del sonido y depende de la amplitud de la onda de vibración, es la propiedad que nos permite distinguir entre sonidos débiles y fuertes y se mide en decibelios (dB).
- El timbre proviene de la mezcla de un sonido fundamental y sus sonidos accesorios o armónicos, y es la cualidad por la que sabemos quién o cuál es el emisor del sonido. Los cambios de timbre en una misma voz también indican estados emocionales.

Por tanto, la prosodia sería el punto de unión entre la música y el habla. Los elementos prosódicos son los principales parámetros de organización de la lengua hablada y sin mecanismos prosódicos difícilmente sería posible hacer inteligible el continuo fónico (Gallo et al., 2008). Un mismo sujeto puede pronunciar la misma frase de modos muy diferentes según la emoción que quiere transmitir; pudiendo cambiar todas las variables musicales y en distintos grados adecuados a las necesidades expresivas que requiere cada momento. De este modo, con el sonido, el oyente recibe una serie de informaciones de naturaleza prosódica con reseñas no sólo conceptuales sino también dialectales, sociolingüísticas y emotivas (Amor Sánchez, 2016).

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Los criterios sobre el programa más acertado de estimulación prenatal musical no son unánimes. Las discrepancias se extienden desde el procedimiento de estimulación, a la selección de la música, la intensidad de los sonidos, número de sesiones y duración. Nosotros consideramos que estos métodos tienen una simplificación de base que los hace todavía más cuestionables: tratan la música como una única variable. Asumir que un feto escucha la música de forma genérica como lo hace un adulto es una deducción probablemente ficticia, y de significado fisiológico y clínico cuestionable, dado que los sistemas encefálicos subyacentes a la acción, la emoción, la cognición social y los mecanismos de memoria y atención que hacen a una mente apreciativa están en muy temprano desarrollo. Apoyados en el planteamiento de Meyer de que, sin pensamiento ni memoria, no podría haber experiencia musical (Meyer, 2001) proponer que el feto responde a la música de forma genérica resultaría demasiado ambicioso, pues no sabemos el rango de tiempo que una mente incipiente podría ser capaz de mantener la atención sobre tal estímulo, como tampoco sabemos si puede decodificar los estímulos sonoros de la misma forma, o parecida, a la de un adulto; ni cuánto tiempo es capaz de retener en su memoria la información sonora (Amor Sánchez, 2016).

Bajo la hipótesis de que la memoria auditiva de un feto está por debajo de la denominada como “memoria de trabajo”, es decir, por debajo de los 15 segundos (Hepper, 1991, 1997), implicaría que tal vez nunca podría hacerse una imagen completa de una melodía a priori tan sencilla como la de “Cumpleaños Feliz”, y que su mente apenas podría dar sentido a pequeños momentos de información sonora que en nada se parecerían a los que produciría una mente adulta. En otras palabras, en un momento concreto de una estimulación musical dada, al feto le faltaría la información sonora precedente de hace cinco segundos, con lo que su mente no generaría las mismas expectativas musicales que un adulto y por lo que su representación mental de la música diferiría sustancialmente.

Por tanto, ante las hipótesis que sugieren un aprendizaje fetal ante estímulos sonoros, el equipo de estudio se planteó si el feto pudiera reconocer la voz de su madre gracias a la identificación de los elementos de la prosodia de esta. Si esto es así, si el feto es capaz de reconocer a su progenitora a través de las características de su prosodia, entonces podríamos considerar ésta, con sus características tímbricas,

melódicas, rítmicas, agógicas y dinámicas, como sistema de referencia sonora fetal. Se ha descrito que, aunque el habla es atenuada en el vientre materno, sus características prosódicas se conservan (Busnel et al., 1992; DeCasper et al., 1986; Moon et al., 2000; Provasi et al., 2014). Asimismo, el ambiente intrauterino hace que la percepción de las vocales ocurra antes que la de las consonantes, posiblemente debido a que las vocales son más fuertes, tienen una mayor duración y transmiten información prosódica destacada, como la melodía, el ritmo y el estrés (Provasi et al., 2014). Por tanto, el feto no solo aprende las características específicas de la voz de la madre, sino también parámetros como el ritmo silábico, el tiempo de inicio de la voz, la estructura armónica de los sonidos y el orden temporal de estos sonidos (DeCasper et al., 1986; Provasi et al., 2014).

Para el feto, la voz de su madre en actitud de habla normal representaría un hábito de escucha. La inhibición de los parámetros que definen esa normalidad de la voz hablada podría acarrear un reconocimiento de que, lo que suena, es distinto (Meyer, 2001). Para Arnold Schöemberg (Schoenberg, 1993) la unidad estructural musical más pequeña es el fragmento fraseológico, consistente en un número de hechos musicales integrados, poseedora de cierto sentido de idea completa, así como adaptable a la combinación con otras unidades similares. De este modo podríamos descomponer la voz de la madre en fragmentos fraseológicos potencialmente asumibles por la mente en formación de su hijo, combinarlos o variarlos según las propuestas de Meyer y observar si evidencian efecto en forma de movimiento fetal. Además del timbre, observaríamos si el feto reconoce o no las características musicales englobadas en la prosodia materna.

Para abordar el estudio de la respuesta fetal a estímulos musicales resulta indispensable dar pequeños pasos a la medida de un cerebro en el que se acaba de formar el órgano auditivo, en el que comienzan a producirse las primeras conexiones neuronales a través de un incipiente sistema nervioso; un cerebro en el que la capacidad de almacenar memoria y su procesamiento podría ser bastante limitada. Luego evidentemente, no podemos hablar de música para estimulación fetal en los términos de la persona adulta, madura, enmarcada por un amplio contexto social y cultural al que se ha podido ir adaptando con mayor o menor dificultad a través de los años. El único contacto con el contexto sociocultural que tiene el feto es la voz materna, siendo esta la genuina referencia de quien con mayor probabilidad nos va a proteger en ese nuevo mundo al que, por lo general, se llega solo. Esa voz no emite únicamente información aséptica, sino que en ella se entremezclan otros mensajes entre líneas: la cultura, el

entorno en que se vive, el estado emocional general, los sentimientos del momento o la personalidad, entre otros.

Pero ¿qué ocurriría entonces si deliberadamente alterásemos algunas de las variables que conforman tal referencia?, ¿podríamos condicionar de algún modo la respuesta fetal introduciendo cambios en ese sistema referencial?, y más aún ¿podríamos distinguir las variables que podrían provocar una respuesta en el feto? (Amor Sánchez, 2016; Marín Pérez et al., 2019). En una persona adulta, las variables que pueden influir en su respuesta frente a la música se multiplican exponencialmente al entenderla, además de como un hecho físico, como un constructo sociocultural en el que se tendrían que tener en cuenta demasiados factores objetivos y subjetivos, capaces de alterar el producto final sustancialmente. Pero en el feto, a través de la voz de su madre, podemos eliminar todas las variables que tendrían que ver con ese aspecto sociocultural subjetivo, lo que nos permite un análisis más enfocado sobre elementos musicales concretos más objetivos.

Tal y como se ha desarrollado durante la introducción, el rol que ejerce la estimulación sonora en el feto constituye un campo de estudio en continuo análisis, en parte por el desconocimiento que se tiene sobre las capacidades fetales, formulando numerosas teorías sobre el posible aprendizaje intrauterino. Este hecho motivó a nuestro equipo de trabajo al desarrollo de este estudio. Nosotros planteamos una *"Música Para Sus Oídos",* que es como denominamos a este Estudio de Investigación, mediante la cual evaluar si la semejanza o no a las características prosódicas de la voz materna pudiera condicionar la respuesta fetal.

2. Hipótesis y Objetivos

2.1. HIPÓTESIS.

Nuestra hipótesis es que la respuesta fetal a cualquier estímulo musical que reciba va a estar condicionada por el reconocimiento de la voz de su madre como referencia auditiva primaria, con la que ha establecido un vínculo exclusivo mediante la exposición temprana y constante.

2.2. OBJETIVOS.

Para abordar esta hipótesis, nos planteamos los siguientes objetivos:

1. Diseñar una metodología de estimulación musical fetal vía intravaginal basada en la voz materna.

2. Establecer un procedimiento cuantitativo para valorar la respuesta fetal por ecografía 4D.

3. Analizar la respuesta motora fetal ante la estimulación musical basada en la voz materna.

3. Material y Métodos

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

El presente trabajo de Tesis Doctoral forma parte de un Proyecto de Investigación que resulta de la colaboración entre dos grupos de investigación de la Universidad de Murcia: E009-10 Ginecología, Obstetricia y Reproducción Humana, al que pertenece el Prof. Juan Luis Delgado Marín, MD, PhD, y E094-03 Fisiología Médica, al que pertenecía entonces la Profa. Bárbara Bonacasa Fernández. Actualmente pertenece al grupo E081-03 Ejercicio Físico y Rendimiento Humano. Ambos investigadores pertenecen al Programa de Doctorado "Integración y Modulación de Señales en Biomedicina", y son directores del presente trabajo de Tesis Doctoral. El Proyecto se denomina "2016-4-11-HCUVA. - Respuesta fetal a elementos musicales de la voz materna", cuya IP es la Profa. Bárbara Bonacasa, PhD. La coordinación clínica ha estado a cargo de Prof. Juan Luis Delgado, Jefe de Sección Obstetricia y Coordinador de la Unidad Medicina Materno-Fetal del Hospital Clínico Universitario (HCUVA) de Murcia.

El equipo científico multidisciplinar está constituido además por los siguientes investigadores:

- Prof. Bernardo Amor Sánchez MSc: profesor del Conservatorio de Música Maestro Jaime López de Molina de Segura. Grabación de las voces y creación de estímulos musicales.
- Alba María Marín Pérez, MD: facultativa especialista de Obstetricia y Ginecología del HCUVA. Reclutamiento de las voluntarias, realización de las ecografías 4D, del análisis de la respuesta fetal, creación de la base de datos y de su análisis posterior. Autora de la presente Tesis Doctoral. Observadora 1.
- Carmen María Dolores Sánchez, alumna de 6º curso del Grado en Medicina de la Universidad de Murcia. Observadora 2.
- Celia Marín Pérez: alumna de 6º curso del Grado en Medicina de la Universidad de Murcia. Observadora 3.

Se llevó a cabo un estudio de investigación analítico, doble ciego, cuasiexperimental en el que se ha valorado la causa-efecto de la exposición a un estímulo. A su vez es un estudio de tipo cruzado, ya que se ha sometido a cada participante a la intervención y

al control, al ser expuesta a las dos condiciones principales: voz materna modificada (intervención) y voz materna original (control).

Para realizar este estudio se estableció un protocolo de investigación, que se desarrolló durante el periodo comprendido entre junio de 2017 y marzo de 2020, hasta conseguir un protocolo unificador y reproducible para todas las gestantes participantes. Dicho protocolo fue autorizado por el Comité de Ética del Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca (Anexo 1). Así mismo, el estudio se realizó en conformidad con la Declaración de Helsinki.

La empresa Italfarmaco S.L. ha colaborado con el desarrollo del Proyecto mediante la adquisición y préstamo de los siguientes dispositivos:

- Ordenador Mac OS X®.
- Teclado M-Audio. Keystation 88.
- Micrófono Neumann TLM® 103.
- Altavoz
- Tarjeta de sonido Focusrite Scarlett ®.
- Software LogicPro® de edición musical.
- Software Sibelius® de notación musical.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

La muestra de voluntarias para realizar este estudio se obtuvo entre mujeres gestantes con gestaciones de curso normal que llegan a la Unidad Materno Fetal del Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca (Murcia). Se incluyeron inicialmente un total de 17 gestantes, todas ellas reclutadas aprovechando la visita rutinaria establecida en el calendario gestacional para realizar la ecografía morfológica de las 20 semanas.

El reclutamiento de voluntarias se realizó durante el período de diciembre de 2018 a marzo de 2020, momento en el que la pandemia de la COVID 19 obliga a minimizar visitas hospitalarias.

Finalmente, 2 voluntarias tuvieron que ser excluidas en el momento de la ecografía por incorrecta posición fetal, por lo que el tamaño muestral final fue de 15 voluntarias.

3.2.1. Criterios de inclusión.

- Voluntarias sanas.
- Gestaciones únicas.
- Controles ecográficos y analíticos normales durante la gestación.
- Voluntarias originarias de España y del área geográfica de la región de Murcia para minimizar los rangos de frecuencias del habla.
- IMC normal (<25).
- Placenta situada en cara posterior para conseguir una correcta visualización del feto en la ecografía 4D.
- Haber firmado el consentimiento informado del estudio previamente a iniciar el mismo.

3.2.2. Criterios de exclusión.

- Todas aquellas condiciones que supongan o puedan suponer un riesgo en la gestación (hipertensión arterial, obesidad, diabetes, retraso del crecimiento intrauterino, malformaciones fetales o gestaciones con alto riesgo de cromosomopatías).
- Antecedente de feto muerto anteparto.
- Gestaciones múltiples.
- Gestaciones mediante fecundación in vitro (FIV) con donación de óvulos o embriones.
- Nivel socioeconómico en riesgo de exclusión social.
- Alcoholismo o drogadicción.
- Vivir o trabajar en un ambiente acústicamente estresante.
- No aceptación del estudio mediante consentimiento informado.

3.3. MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS.

3.3.1. Consentimientos y formularios.

- Hoja de información del estudio para la gestante y consentimiento informado para la participación en el estudio (Anexo 2).
- Texto de lectura para el análisis de la voz materna (Anexo 3).
- Texto para la creación del estímulo original (Anexo 4).

3.3.2. Grabación de la voz.

- Ordenador portátil Apple MacBook Air.
- Tarjeta de sonido Focusrite Scarlett®.
- Micrófono Neumann TLM 103®.
- La grabación de la voz materna se realizó en una estancia aislada y alejada de contaminación acústica del bloque maternal del HCUVA, habilitada para tal fin.

3.3.3. Análisis de la voz.

- Ordenador portátil Apple MacBook Air.
- Software libre PRAAT® para el análisis de la voz materna.
- Software LOGIC PRO-X® (Apple) utilizado para la creación de los estímulos sonoros.

3.3.4. Estimulación musical y ecografía 4D.

- Dispositivo comercial de reproducción sonora intravaginal BabyPod®.
- Cámara de vídeo digital SONY Handycam DCR-SR30®.
- Auriculares EarPods de Mac.

- Ecógrafo Voluson E10 de General Electric.
- La experimentación se llevó a cabo en una de las salas específicas de ecografía de la Unidad Materno Fetal del HCUVA

3.3.5. Análisis de los datos y estudio estadístico.

- Ordenador portátil Apple MacBook Air.
- Sofware SPSS
- Software R (versión 4.3.0).
- Paquetes de R clickR (versión 0.9.39), repmod (versión 0.3.10), ggplot2 (versión 3.4.4), brms (versión 2.20.4) y bayestestR (versión 0.13.1).

3.4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.

3.4.1. Cronograma experimental.

El procedimiento experimental que se ha seguido en este estudio de investigación se puede dividir en cinco etapas, y queda ilustrado en la Fig. 5:

- Etapa 1: Reclutamiento de la gestante candidata.
- Etapa 2: Grabación de la voz de la gestante.
- Etapa 3: Creación de los estímulos sonoros a partir de las grabaciones previas.
- Etapa 4: Estimulación musical y monitorización de la respuesta fetal.
- Etapa 5: Análisis de la respuesta fetal.

Figura 5.

Cronograma del estudio de investigación Respuesta fetal a elementos musicales de la voz materna.

3.4.2. Etapa 1: Reclutamiento.

El reclutamiento de la gestante se realizó aprovechando la visita rutinaria establecida en el calendario gestacional para realizar la ecografía morfológica a las 20 semanas de gestación. Para ello, la selección se hizo en base a los criterios de inclusión y exclusión explicados anteriormente.

Este primer día se explicó a la participante en qué consistía el estudio y se formalizó la aceptación en la inclusión en el estudio tras la firma del Consentimiento Informado (Anexo 2). Todas las participantes fueron informadas de la finalidad investigadora del estudio y se les proporcionó una copia del consentimiento informado, así como una hoja informativa sobre la finalidad de este. En este documento se indicaba la confidencialidad de datos.

Además, se le proporcionó a la madre un texto (Anexo 4), cuya lectura dura unos 15 segundos, que sería el que posteriormente se grabó como patrón para la creación de estímulos. Este texto consistía en un mensaje afectuoso hacia su hijo, indicándole que podía realizar en él los cambios que considerara oportunos para realizar la grabación con la mayor naturalidad posible.

3.4.3. Etapa 2: Grabación de la voz materna.

En esta segunda etapa, que se realizó entre las semanas 20-23 de gestación, se grabó la voz materna para la elaboración posterior de los estímulos. Esta etapa del estudio fue gestionada por el investigador Prof. Bernardo Amor Sánchez. Es importante destacar que se tomó la precaución de realizar esta fase del del protocolo en un área del bloque maternal del HCUVA aislada de ruidos externos que pudieran modificar la composición musical.

Se efectuaron dos grabaciones distintas: una primera que sirvió para el análisis de las características de la voz materna; y otra a partir de la cual se elaboraron los distintos estímulos sonoros (Fig. 6).

- **Grabaciones para el análisis de la voz materna (Fig. 6 y 7)**: se registró una batería de frases enunciativas afirmativas, enunciativas negativas, exhortativas, exclamativas, interrogativas y dubitativas, que abarcan diferentes registros, con el objetivo de incluir el mayor espectro vocal de la gestante para su posterior análisis de frecuencias (Hz) (Anexo 3). Así se

acotó el ámbito de la voz materna y se establecieron, de esta manera, los límites melódicos entorno a los que se elaborarían los estímulos.

- **Grabación del estímulo base:** consiste en la generación del estímulo original (EO), cuyas modificaciones nos sirvieron para la creación de la batería de estímulos. Consiste en la lectura del texto afectuoso que se le proporcionó a la gestante en la primera fase, de una duración de 15 segundos para cada participante (Anexo 4). Se realizaron de cuatro a seis tomas distintas de las que seleccionar la de mejor calidad acústica. Las muestras de audio se recogieron en los dispositivos electrónicos descritos en el apartado anterior. La duración total de este proceso fue de unos 20-30 minutos por cada participante incluida.

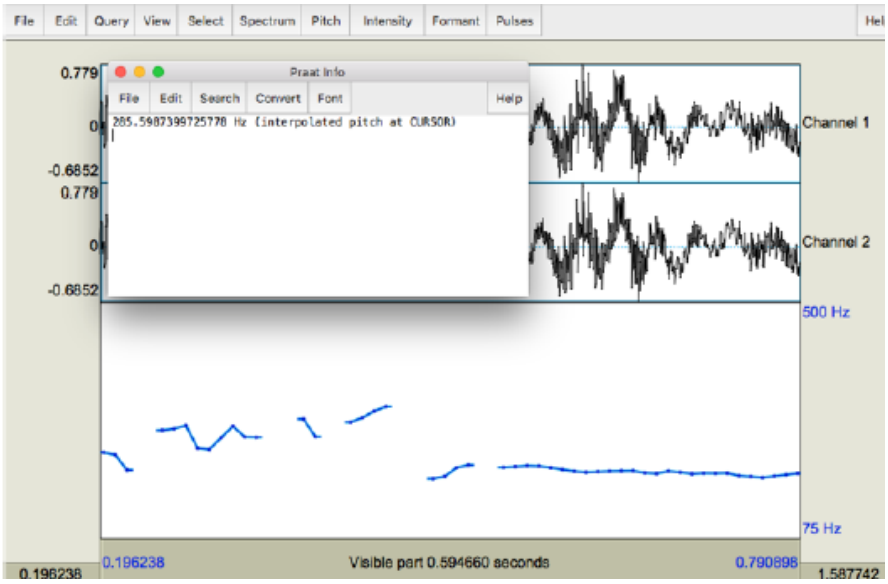
Figura 6.

Procedimiento de la grabación de la voz materna. A. Perspectiva posterior que ilustra el equipo empleado. B. Perspectiva anterior, que lustra la situación experimental.

3.4.4. Etapa 3: Creación de los estímulos.

Se realizó un análisis de la voz materna mediante el software PRAAT® (Fig. 7). Para ello se procesó el texto grabado por la gestante (EO) con la finalidad de analizar las frecuencias en Hz alta, media y mínima de la prosodia de la voz materna. Los resultados de este análisis delimitarían el rango de alturas que se podrían utilizar para la elaboración de los estímulos.

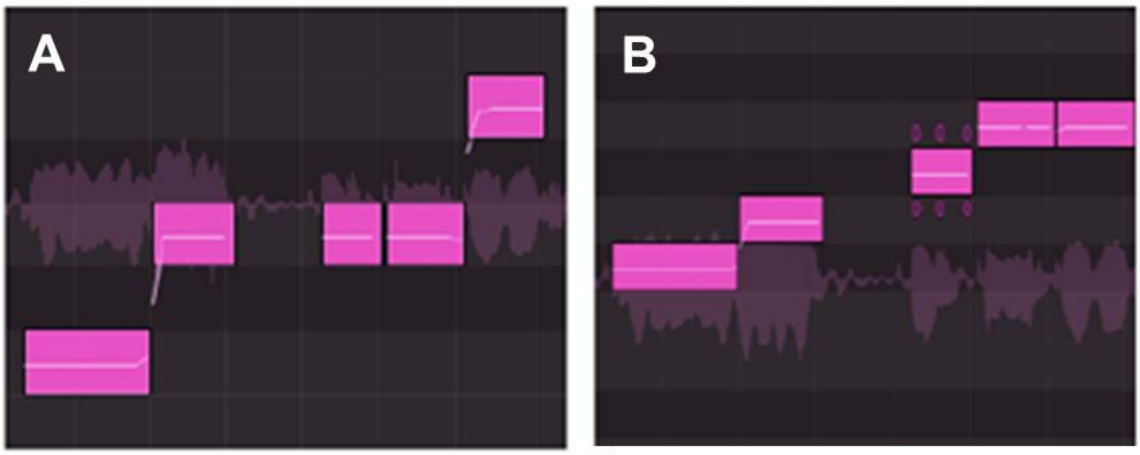
Figura 7.
Interfaz de gestión y análisis de la voz en el software PRAAT®



Inicialmente la creación de estímulos musicales de la voz materna se realizó mediante la técnica de sampleado, que consiste en tomar una muestra de un sonido grabado en cualquier tipo de soporte, para reutilizarla posteriormente como un instrumento musical o una diferente grabación de sonido. La justificación del sampleado residía en eliminar la variable “timbre materno”, con el objetivo de analizar la respuesta a notas, intervalos y estructuras, independientemente del timbre (Amor Sánchez, 2016).

Sin embargo, posteriormente optimizamos este proceso, sustituyendo el proceso de sampleado por el software Logic Pro X®. En este caso, se utilizó como base el estímulo original (EO) y se realizaron 45 estímulos diferentes, introduciendo cuando correspondía, el cambio en alguna variable musical. El Plug-in Flex Pitch de Logic Pro X ® desglosa silábicamente la prosodia materna en notas musicales, permitiendo la edición de los formantes o armónicos, que tienen un papel fundamental en la percepción del timbre (Fig. 8). Así, se potencian los armónicos más agudos hasta un nivel de 300 Hz hasta que la cualidad tímbrica de la voz original desaparece por completo, no así su estructura melódica, rítmica, dinámica (intensidad) y agógica (velocidad), que permanecen intactas.

Figura 8.
Editor de audio Plug-in Flex Pitch de LOGIC PRO X®. En la imagen A inicio del EO de G11 con armonía modificada, velocidad de reproducción rápida y organización del sonido tipo orden (repetición), correspondiente al estímulo denominado: (33C_OR). En la imagen B inicio del EO de G11 con armonía modificada, velocidad de reproducción rápida y organización del sonido tipo caos (aleatorización), correspondiente al estímulo denominado: (48C_CR).



Las variables seleccionadas para la creación de los estímulos sonoros fueron:

1. **Según la organización del sonido**, como ilustra la Fig 9, cuya escala de colores azules utilizada indica, desde el claro hasta el oscuro, un alejamiento progresivo de la referencia sonora del feto:
    - HABITUACIÓN: con esta variable nos referimos a la ausencia-presencia de sonido, siendo éste la voz materna. Esta variable se ha introducido de manera que los estímulos están intercalados por silencios de igual duración (10 seg.), con el fin de favorecer la habituación fetal a la misma para impedir su interferencia con las que sí son objeto del estudio. Este patrón inicial se diseñó con el objetivo de conseguir una familiarización del feto a los estímulos sonoros posteriores, en los que ya estarían alterados patrones de la prosodia materna, objetivo principal del estudio.
    - REFERENCIA: se basa expresamente en la voz materna original, respetando sus características rítmicas y melódicas originales.
    - ORDEN: con ello analizamos el sonido organizado. Consiste en una repetición en bucle del inicio del EO. Esta variable ya supone un alejamiento de la voz materna original, pues ésta se caracteriza por la variedad, no siendo común la repetición de patrones melódico-rítmicos idénticos.

- CAOS: tiene como base la aleatoriedad, alterando la estructura melódica y rítmica del EO. A diferencia de la variedad, la aleatoriedad no permite al cerebro distinguir patrones sonoros.

Figura 9.

Esquema de comparación de la respuesta fetal frente a grandes bloques de estímulos con diferente organización del sonido. La escala de colores azules utilizada indica, desde el claro hasta el oscuro, un alejamiento progresivo de la referencia sonora del feto.

ORGANIZACIÓN DEL SONIDO			
HABITUACIÓN	**REFERENCIA**	**ORDEN**	**CAOS**
Presencia-ausencia de sonido	VARIEDAD Elementos de la voz materna	SONIDO ORGANIZADO Repetición	SONIDO DESORGANIZADO Aleatoriedad

2. **Según la velocidad de reproducción**, como refleja la Fig.10, cuya escala de colores verdes utilizada expresa, desde el claro hasta el oscuro, un alejamiento progresivo de la referencia sonora del feto:
   - LENTO: mitad de la velocidad de reproducción normal del estímulo emitido por la gestante.
   - NORMAL: velocidad de reproducción del estímulo a la velocidad normal, con la que fue emitido por la gestante.
   - RÁPIDO: doble de la velocidad de reproducción normal del estímulo emitido por la gestante.

Figura 10.

Esquema de comparación de la respuesta fetal frente a grandes bloques de estímulos con diferente velocidad de reproducción. La escala de colores verdes utilizada expresa, desde el claro hasta el oscuro, un alejamiento progresivo de la referencia sonora del feto

VELOCIDAD DE REPRODUCCIÓN		
LENTO	**NORMAL**	**RÁPIDO**
(L)	(N)	(R)

3. **Según las características prosódicas de la voz materna**, ilustrado en la Fig.11, cuya escala de colores naranjas expresa el grado de tensión generado por alejamiento de las características prosódicas de la voz materna:

- MELODÍA MODIFICADA: modificación de la melodía original de la voz materna. Una melodía es una sucesión de notas que se desarrollan en el tiempo y que mantienen entre sí unas relaciones jerárquicas que les dan un sentido completo.
- ARMONÍA MODIFICADA: en estos estímulos se produjo una alteración de la armonía de la voz materna. La armonía estudia la relación que mantienen las notas musicales que suenan simultáneamente formando acordes, así como las relaciones de tensión y relajación que mantienen estos últimos cuando se suceden unos a otros en el tiempo.
- DINÁMICA MODIFICADA: modificación de la intensidad o dinámica de la voz materna. La amplitud de la onda sonora determina la intensidad con la que percibimos el hecho sonoro.
- TIMBRE MODIFICADO: alteración del timbre materno. El timbre de la voz lo constituye la forma en que vibra la onda sonora, y determina cómo va a ser procesada y representada en nuestro cerebro.

Figura 11.
Representación de la comparación de la respuesta fetal frente a grandes grupos de estímulos con diferentes características prosódicas. La escala de colores naranjas expresa el grado de tensión generado por alejamiento de las características prosódicas de la voz materna.

CARACTERÍSTICAS PROSÓDICAS				
VOZ MATERNA ORIGINAL (A)	**MELODÍA MODIFICADA** (B)	**ARMONÍA MODIFICADA** (C)	**DINÁMICA MODIFICADA** (D)	**TIMBRE MODIFICADO** (E)

De este modo, alterando las variables anteriormente expuestas, se crearon un total de 45 estímulos musicales distintos de 10 segundos de duración, todos ellos teniendo como referencia el EO de la voz materna. Cada estímulo estuvo seguido de un intervalo de silencio de la misma duración, teniendo un total de 110 estímulos: 20 estímulos iniciales de habituación + 45 estímulos sonoros + 45 silencios. Durante la exposición musical, los estímulos se reprodujeron en el orden establecido en la Fig 12, que también incluimos como Anexo 5, junto con la descripción de cada uno de los estímulos sonoros.

Se escogió la duración de 10 segundos para los estímulos manteniendo la hipótesis de que esta podría ser la ventana de percepción fetal. Se decidió intercalar periodos de silencio de 10 segundos entre los estímulos para mantener la independencia entre ellos.

En el Anexo 6 aparece el protocolo que se siguió durante la sesión de grabación y elaboración de estímulos, así como la metodología seguida por el Prof. Bernardo Amor para la elaboración de los estímulos.

Figura 12.

Esquema global de sucesión y nomenclatura de los 90 estímulos musicales totales (sin la fase de habituación).

	REFERENCIA (300 seg.)			**ORDEN (300 seg.)**			**CAOS (300 seg.)**		
	Variedad Tímbrica-Rítmica-Melódica-Dinámica			**Repetición** Tímbrica-Rítmica-Melódica-Dinámica			**Aleatoriedad** Tímbrica-Rítmica-Melódica-Dinámica		
	Lento (100 seg.)	Normal (100 seg.)	Rápido (100 seg.)	Lento (100 seg.)	Normal (100 seg.)	Rápido (100 seg.)	Lento (100 seg.)	Normal (100 seg.)	Rápido (100 seg.)
VOZ MATERNA ORIGINAL (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**A** (6A_RL)	A (11A_RN)	A (16A_RR)	A (21A_OL)	A (26A_ON)	A (31A_OR)	A (36A_CL)	A (41A_CN)	A (46A_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S6**	**S11**	**S16**	**S21**	**S26**	**S31**	**S36**	**S41**	**S46**
Voz materna con MELODÍA MODIFICADA (variedad rítmica) (10 seg.)	**B** (7B_RL)	B (12B_RN)	B (17B_RR)	B (22B_OL)	B (27B_ON)	B (32B_OR)	B (37B_CL)	B (42B_CN)	B (47B_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S7**	**S12**	**S17**	**S22**	**S27**	**S32**	**S37**	**S42**	**S47**
ARMONÍA (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**C** (8C_RL)	C (13C_RN)	C (18C_RR)	C (23C_OL)	C (28C_ON)	C (33C_OR)	C (38C_CL)	C (43C_CN)	C (48C_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S8**	**S13**	**S18**	**S23**	**S28**	**S33**	**S38**	**S43**	**S48**
Voz materna con DINÁMICAS MODIFICADAS (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**D** (9D_RL)	D (14D_RN)	D (19D_RR)	D (24D_OL)	D (29D_ON)	D (34D_OR)	D (39D_CL)	D (44D_CN)	D (49D_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S9**	**S14**	**S19**	**S24**	**S29**	**S34**	**S39**	**S44**	**S49**
Voz materna con TIMBRE MODIFICADO (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**E** (10E_RL)	E (15E_RN)	E (20E_RR)	E (25E_OL)	E (30E_ON)	E (35E_OR)	E (40E_CL)	E (45E_CN)	E (50E_CR)
Silencio	**S10**	**S15**	**S20**	**S25**	**S30**	**S35**	**S40**	**S45**	**S50**

3.4.5. Etapa 4: Monitorización de la respuesta fetal.

Se decidió realizar la monitorización fetal mediante ecografía 4D entre las semanas 25 a 28+6 de gestación. Se seleccionó este rango de edad gestacional en primer lugar con el objetivo de permitir la habituación fetal que, como se ha descrito, se alcanza alrededor de la semana 23; y en segundo lugar, para que se hubiera producido un desarrollo suficiente de la anatomía facial y que las extremidades encajaran en el mismo plano ecográfico.

El día de la estimulación se indicó a todas las participantes que hubieran ingerido algún alimento en la media hora previa a la ecografía, para que no hubiera diferencias en el grado de actividad fetal influenciada por la glucemia materna. Además, todas las ecografías se realizaron en el mismo momento del día, entre las 15- 20 h. La duración de la estimulación fue en torno a los 20-40 minutos.

Figura 13.
Dispositivo de reproducción intravagina Babypod®*.*

Para la estimulación auditiva del feto se seleccionó como método de reproducción el dispositivo intravaginal Babypod® (Fig. 13), ya que es el dispositivo que ha mostrado una menor interferencia con los sonidos externos y mayores condiciones de seguridad para el feto (López-Teijón et al., 2015). El dispositivo intravaginal es un pequeño altavoz de forma ovalada, flexible, compuesto de silicona hipoalergénica, de 5 x 3,5 x 3,2 cm y 340 g de peso. Posee un sistema de control de volumen, con una intensidad de sonido

máxima de 54 decibelios, que fue la elegida para el estudio por su condición de seguridad fetal (Graven, 2000; López-Teijón et al., 2015) y que se mantuvo constante en todos los experimentos. Este dispositivo tiene dos puertos de salida: uno que se acopló al ordenador del estudio, que era el que contenía los estímulos sonoros; y otro puerto de salida con unos auriculares, que iban a la cámara de vídeo, encargada de grabar el minutaje de la estimulación.

En cada estimulación el dispositivo se recubría con un preservativo, los mismos que son utilizados para la sonda vaginal del ecógrafo, y se lubricaba externamente con una pequeña cantidad de gel, con el objetivo de producir la menor incomodidad posible en el momento de la introducción vaginal a la participante. Ninguna participante refirió algún tipo de molestia con la introducción ni posterior estimulación con el dispositivo intravaginal.

Figura 14.
Captura de imagen ecográfica durante la estimulación musical.

Durante el proceso de la monitorización de respuesta fetal se realizaron dos grabaciones visuales:

- **Ecografía en 4D.** (Fig 14): se grabó el comportamiento fetal durante el proceso de la estimulación sonora, en el que denominamos Vídeo 1. Se utilizó en todos los casos el mismo ecógrafo Voluson E10 con la configuración ecográfica de calidad MID2 y ángulo máximo. Se realizó una prueba de decalaje para comprobar que no existía retardo en la reproducción de la imagen que pudiera

alterar los resultados. Por este motivo se seleccionó la calidad de imagen MID2, en lugar de HIGH, la cual hubiera hecho que sí existiera cierto grado de decalaje en la reproducción de la imagen 4D. Para la realizar la prueba de decalaje se hizo un test de sincronización audio/video al inicio de cada estudio. En todos los casos se comprobó que no existía decalaje, por lo que no fue preciso sincronizar audio-imagen en el análisis posterior.
Se priorizó, por tanto, la concordancia audio-imagen, clave para el análisis correcto de los movimientos fetales en relación con un determinado estímulo sonoro, en lugar de la mayor calidad de imagen posible, ya que la calidad MID2 era suficientemente buena para nuestro objetivo.

De este modo, esta grabación solo muestra la actividad fetal, sin reproducir el audio del tipo de estímulo que sonaba simultáneamente. Este vídeo sería el utilizado posteriormente para realizar el análisis objetivo de la respuesta fetal, también sin conocimiento del tipo de estimulación.
En el estudio ni el ecografista, ni la gestante, ni posteriormente las personas encargadas del análisis de la respuesta fetal supieron qué tipo de estímulo se estaba reproduciendo en ningún momento. La duración de cada ecografía fue de unos 20-40 minutos, ya que, aunque la duración de la estimulación era la misma para todas las voluntarias (20 minutos), en algunos casos durante la ecografía el feto cambiaba de posición, impidiendo una adecuada visibilidad. En estos casos, se pausó la estimulación sonora y se volvió a capturar la imagen 4D hasta que fuera satisfactoria. Todas estas pausas de la estimulación quedaron reflejadas en una hoja específica para ello, con el objetivo de ajustar posteriormente el minutaje de la estimulación.

El objetivo fundamental para el análisis fetal mediante la ecografía 4D fue la correcta evaluación de la cara fetal, quedando las extremidades en ocasiones fuera del campo visual. En los casos en los que al comenzar la ecografía el feto se encontraba en situación dorso-anterior y no se podía evaluar la cara, se indicó a la participante que fuera a pasear durante unos 30 minutos con el fin de que el feto cambiara de posición.

En el caso de dos participantes no se pudo realizar la ecografía y hubo que desestimarlas del estudio, ya que los fetos se encontraban en dorso-anterior en los dos días que se citaron, y la visualización no fue correcta.

- **Cámara de vídeo** (Fig. 15): Esta grabación o vídeo 2 tenía el objetivo de captar el minutaje (hora, minutos y segundos) de la imagen reproducida por el ecógrafo. Como se ha comentado, la sincronización audio-ecografía ha sido un aspecto clave a tener en cuenta. Por ello, para lograr el ajuste exacto del minutaje de la ecografía con la reproducción de los estímulos, se colocó el auricular externo del BabyPod® junto al micrófono de la cámara de vídeo, para grabar el sonido sincrónicamente a la imagen de la pantalla del ecógrafo. De este modo sabríamos en qué momento exacto comenzaban a sonar la batería de estímulos.

Figura 15.
Vídeo 2: cámara de vídeo dirigida al minutaje de la ecografía.

Este audio no fue escuchado por los examinadores del estudio, sino que solo sirvió de referencia para elaborar cada tabla de análisis de movimientos y ajustarla con el minuto exacto en el que comenzaba la estimulación, así como para saber el momento de reanudar la estimulación en los casos en los que se produjeron pausas.

La totalidad de la exploración ecográfica fetal en 4D fue almacenada en un dispositivo externo para su posterior análisis por las distintas investigadoras que participaron.

3.4.6. Etapa 5: Análisis de la respuesta fetal.

Durante esta etapa se analizó la respuesta fetal a los estímulos musicales por tres investigadoras distintas (Observadora 1, Observadora 2 y Observadora 3), con el objetivo de disminuir la subjetividad en el análisis. Esta valoración se realizó ciega para cada estímulo, puesto que cada operadora desconocía a qué estímulo correspondía cada respuesta fetal. Cada estímulo fue identificado únicamente de forma temporal, a partir del minutaje establecido en el vídeo.

Para codificar qué movimientos fetales se consideraban positivos a la hora de estudiar el comportamiento fetal se diseñó una tabla, basándonos en las dos principales escalas de movimientos fetales existentes, ya descritas en la introducción: KANET (Kurjak et al., 2008) y FOMS (Reissland et al., 2016a), en las que se catalogan ciertos movimientos y expresiones faciales fetales como normales desde el punto de vista del neurodesarrollo.

De este modo, se estudiaron los siguientes 15 movimientos fetales, recogidos en la tabla 1.

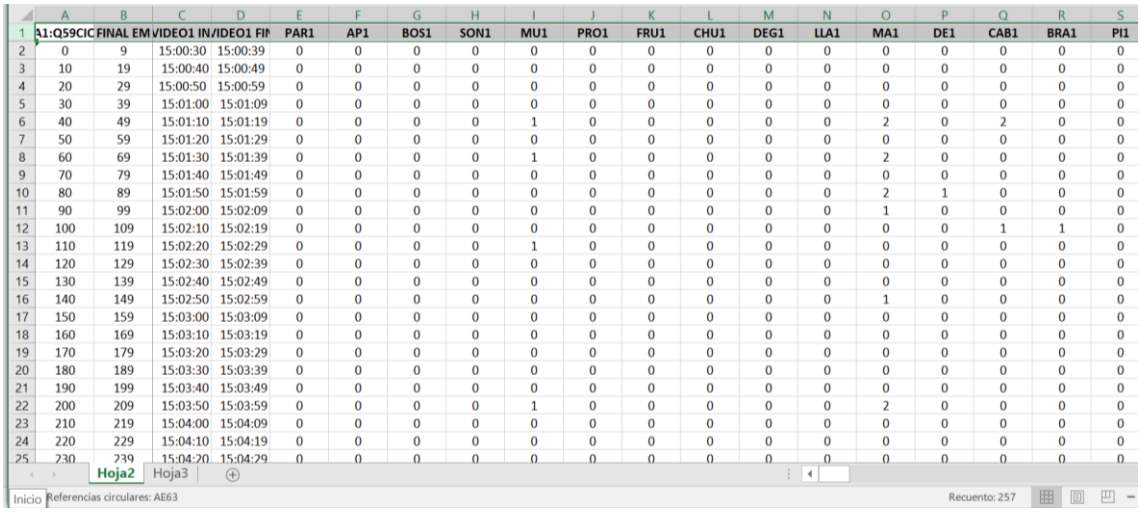
Tabla 1.
Relación de los 15 movimientos fetales sometidos a estudio.

MOVIMIENTO FETAL	DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO
Parpadeo (PAR)	Movimiento por el cual el feto produce un cierre y posterior apertura de los párpados.
Apertura de boca (AP)	Movimiento aislado de apertura bucal, sin implicar la lengua ni otros músculos faciales.
Bostezo (BOS)	Movimiento complejo que implica más músculos faciales, junto con una mayor duración de la apertura bucal y un cierre total o parcial de los ojos.
Sonrisa (SON)	Movimiento complejo de boca que implica varios músculos faciales, como los cigomático mayor y el menor, el orbicular de los ojos, el elevador del ángulo de la boca, el del labio superior y el risorio.
Mueca (MU)	Movimiento facial complejo que implica acción conjunta de varios músculos faciales de forma simultánea.
Protrusión de lengua (PRO)	Movimiento por el que el feto saca la lengua.
Fruncimiento de ceño (FRU)	El feto arruga la frente y las cejas.
Chupeteo (CHU)	Movimiento rítmico de la boca por el que realiza succiones repetidas.
Deglución (DEG)	Paso de líquido amniótico de la boca al esófago.
Llanto (LLA)	Movimiento facial complejo que implica apertura de mandíbula, fruncimiento de ceño, cierre de párpados e inclinación de la cabeza hacia atrás.
Mano (MA)	Cualquier movimiento de mano.
Dedos (DE)	Cualquier movimiento de los dedos de la mano.
Cabeza (CAB)	Anteflexión, retroflexión o movimientos de rotación de cabeza.
Brazos (BRA)	Cualquier movimiento del brazo.
Piernas (PI)	Cualquier movimiento de piernas.

Para elaborar la base de datos que recogiera el análisis de la respuesta fetal se elaboró una tabla en Excel, común para todos los casos estudiados, que recogía:

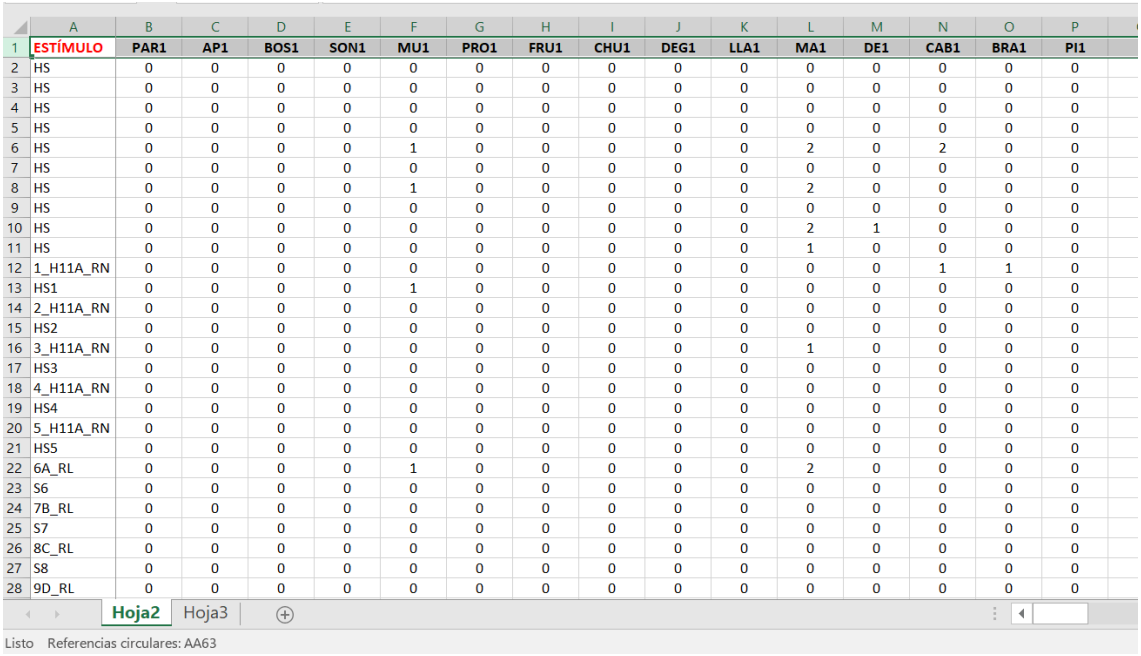
- **En las filas (Fig 16):** Inicialmente se reflejó la secuencia del minutaje de cada grabación. Para ello se utilizó el Vídeo 2 de cada participante, con el que se obtuvo el minutaje en el que comenzaba la estimulación fetal. Así, se crearon franjas de 10 segundos de duración, correspondientes a la duración de cada estímulo diferente, hasta alcanzar la hora en la que finalizaba la estimulación. El objetivo de confeccionar el minutaje en base a estos intervalos de tiempo era facilitar la posterior combinación de cada estímulo sonoro con cada movimiento fetal específico. Una vez evaluados los vídeos fetales 4D con ciego a cada estímulo sonoro, se reveló el ciego con el fin de realizar el estudio estadístico y se sustituyó el minutaje por la nomenclatura de los distintos estímulos musicales (Fig 17).

Figura 16.
Captura de imagen de la base de datos, donde observamos en las filas el minutaje de la reproducción de los estímulos y en las columnas los movimientos a registrar. PAR: parpadeo; AP: apertura de boca; BOS: bostezo; SON: sonrisa; MU: mueca; PRO: protrusión de la lengua; FRU: fruncimiento de ceño; CHU: chupeteo; DEG: deglución; LLA: llanto; MA: mano; DE: dedos: CAB: cabeza; BRA: brazos; PI: pies.



A1:Q59CIC	FINAL EM	VIDEO1 IN	VIDEO1 FIN	PAR1	AP1	BOS1	SON1	MU1	PRO1	FRU1	CHU1	DEG1	LLA1	MA1	DE1	CAB1	BRA1	PI1
0	9	15:00:30	15:00:39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	19	15:00:40	15:00:49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	29	15:00:50	15:00:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	39	15:01:00	15:01:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	49	15:01:10	15:01:19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
50	59	15:01:20	15:01:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	69	15:01:30	15:01:39	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
70	79	15:01:40	15:01:49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	89	15:01:50	15:01:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
90	99	15:02:00	15:02:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
100	109	15:02:10	15:02:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
110	119	15:02:20	15:02:29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	129	15:02:30	15:02:39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	139	15:02:40	15:02:49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	149	15:02:50	15:02:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
150	159	15:03:00	15:03:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	169	15:03:10	15:03:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	179	15:03:20	15:03:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	189	15:03:30	15:03:39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	199	15:03:40	15:03:49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	209	15:03:50	15:03:59	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
210	219	15:04:00	15:04:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	229	15:04:10	15:04:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	239	15:04:20	15:04:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 17.
Captura de imagen de la base de datos, donde se observa en las filas el cambio del minutaje por el nombre del estímulo sonoro. En las columnas continúan apareciendo los movimientos a analizar. PAR: parpadeo; AP: apertura de boca; BOS: bostezo; SON: sonrisa; MU: mueca; PRO: protrusión de la lengua; FRU: fruncimiento de ceño; CHU: chupeteo; DEG: deglución; LLA: llanto; MA: mano; DE: dedos: CAB: cabeza; BRA: brazos; PI: pies.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ESTÍMULO	PAR1	AP1	BOS1	SON1	MU1	PRO1	FRU1	CHU1	DEG1	LLA1	MA1	DE1	CAB1	BRA1	PI1
2	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	HS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
7	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	HS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
9	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
11	HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
12	1_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
13	HS1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	HS2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	3_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
17	HS3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	4_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	HS4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	5_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	HS5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	6A_RL	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
23	S6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	7B_RL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	8C_RL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	9D_RL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- **En las columnas:** se enumeraron los diferentes tipos de movimientos y expresiones faciales considerados como positivos, que son los 15 movimientos descritos anteriormente.

  En el momento de analizar cada respuesta fetal, se anotó en la tabla en qué intervalo de 10 segundos según el minutaje se produjo el movimiento observado en la grabación de la ecografía 4D, para comprobar posteriormente la correlación entre estos y el estímulo sonoro.

  En la tabla se otorgó un valor de 0 ante la ausencia de respuesta fetal, y un número del 1 al 3 ante cualquier respuesta, siendo un 1 las respuestas de menor intensidad y un 3 las de mayor intensidad (Fig. 18).

  La base de datos completa de las tres observadoras se puede consultar en el QR que se encuentra en el Anexo 7.

Figura 18.
Captura de imagen de parte de la base de datos de la gestante 7. PAR: parpadeo; AP: apertura de boca; BOS: bostezo; SON: sonrisa; MU: mueca; PRO: protrusión de la lengua; FRU: fruncimiento de ceño; CHU: chupeteo; DEG: deglución; LLA: llanto; MA: mano; DE: dedos: CAB: cabeza; BRA: brazos; PI: pies.

A	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS
ESTÍMULO	PAR7	AP7	BOS7	SON7	MU7	PRO7	FRU7	CHU7	DEG7	LLA7	MA7	DE7	CAB7	BRA7	PI7	
HS	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	
HS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
HS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	
HS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	1	0	
HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	0	
1_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HS1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	3	
2_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HS2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	3	3	3	
3_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HS3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	3	0	
4_H11A_RN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
HS4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5_H11A_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	
HS5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	
6A_RL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
S6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	
7B_RL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	
S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8C_RL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	1	0	
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	
9D_RL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	

Hoja2 Hoja3

Como se ha descrito previamente, la base de datos se componía de 110 estímulos musicales, aunque, finalmente para el análisis estadístico se decidió eliminar los 20 estímulos iniciales del período de habituación, al considerar que no eran equiparables al resto de estímulos musicales. Por tanto, disponíamos de 90 estímulos musicales por 15 movimientos fetales, lo que supone 1350 variables para cada participante, un total de 20.250 variables con el tamaño muestral final de 15. Este valor hay que multiplicarlo por 3, puesto que cada una de las 3 examinadoras hizo su análisis independiente, es decir, un total de 60.750 variables.

Por último, tras estudiar la respuesta fetal en cada uno de los casos, se procedió a la combinación de los resultados con los diferentes estímulos sonoros, completando cada una de las franjas de 10 segundos con su correspondiente respuesta fetal, según la nomenclatura de cada estímulo.

La unificación en una única tabla de las respuestas fetales observadas en todas las voluntarias del estudio permitiría la comparación de cada parámetro alterado en las prosodias maternas con los diferentes tipos de respuestas fetales producidas. De este

modo, se posibilitó poder comparar y establecer posibles patrones comunes en las respuestas de los 15 casos.

Este análisis fue realizado de forma individual en todas las voluntarias por las 3 examinadoras diferentes del estudio, con el objetivo posterior de analizar la correlación o concordancia interobservador.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los datos se resumieron mediante media (desviación típica) y mediana (1º y 3º cuartil) en el caso de variables numéricas y mediante frecuencias relativas y absolutas en el caso de variables categóricas. Como paso de análisis inicial se realizó un análisis exploratorio mediante gráficos y descriptivos numéricos con el objetivo de caracterizar la muestra del estudio.

3.5.1. Concordancia interobservadoras.

Para analizar la concordancia entre las mediciones de las distintas observadoras se realizaron dos análisis complementarios.

- El primero de ellos consistió en contrastar las diferencias dos a dos entre los tres observadores. Para cada pareja se estudiaron las diferencias brutas en cuanto al valor de movimiento asignado para cada una de las variables en cada una de las observaciones correspondientes al estudio. Así, dado que los valores de movimiento seguían una escala ordinal entre 0 y 3, las diferencias observadas entre dos observadores para una determinada variable en una determinada observación se encontraban entre -3 (el primer observador evalúa 0 y el segundo evalúa 3) y 3 (el primer observador evalúa 3 y el segundo evalúa 0). Dichas diferencias se representaron en un *heatmap* para cada pareja de observadores, ayudando así a caracterizar posibles sesgos de observador para cada una de las variables de movimiento estudiadas.

- Dado que el primer análisis estaba más centrado en las diferencias entre observadores, el segundo se centró más en las diferencias entre las variables de movimiento estudiadas. Es decir, en caracterizar las diferencias de concordancia interobservador entre las distintas variables de movimiento. Para llevar a cabo este análisis se calcularon las distancias de Manhattan para cada variable entre todos los observadores(Yu et al., 2006) . La distancia de Manhattan entre las evaluaciones de dos observadores no es más que la suma del valor absoluto de las diferencias para cada una de las observaciones. Así, si tenemos 6 mediciones para una determinada variable y el observador 1 ha asignado los valores de 0, 1, 1, 3, 0, 2 y el observador 2 ha asignado a esas mismas observaciones los valores de 3, 1, 0, 2, 0, 1 la

distancia de Manhattan consistiría en calcular el valor absoluto de cada una de las diferencias y sumarlas para obtener el total: 3 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 = 6. A partir de las distancias de Manhattan totales, se puede obtener la distancia promedio por observación, que es un valor mucho más interpretable.

3.5.2. Respuesta fetal ante los estímulos musicales.

Para estudiar la asociación entre los distintos estímulos musicales y los movimientos fetales se han utilizado modelos de regresión ordinal mixtos ajustados mediante inferencia bayesiana. Los modelos de regresión ordinal son los más adecuados para el análisis de variables respuesta que son escalas ordinales (Ananth, 1997) (tal y como las variables de movimiento analizadas en este proyecto). Adicionalmente, cuando se tienen observaciones no independientes, es importante utilizar modelos que puedan incorporar esa estructura de dependencia entre las observaciones en los análisis. En este caso las observaciones de un mismo observador son dependientes entre sí, por lo que hay que tener en cuenta esa estructura a la hora de analizar los datos. Por este motivo se han utilizado modelos mixtos (Detry et al., 2016), introduciendo a la observadora como un factor aleatorio.

Todos los modelos se han ajustado mediante inferencia bayesiana, lo que ha permitido obtener estimaciones directas de la probabilidad de efecto de cada una de las variables, facilitando la interpretación de los resultados y permitiendo un control más exhaustivo de las distintas fuentes de incertidumbre (Detry et al., 2016).

Finalmente, para el análisis entre la asociación de los movimientos y los distintos estímulos musicales se decidió eliminar los 20 estímulos iniciales de habituación, que se basaban únicamente en la presencia-ausencia de sonido, debido a que se consideró que no eran equiparables al resto de estímulos musicales.

4. Resultados

4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN.

Las características generales de la población del estudio se resumen en la tabla siguiente (Tabla 2):

Tabla 2.
Descripción general de la población.

VARIABLE	VALORES (N=15)
Edad materna, años, mediana (rango IQ)	29 (8)
Peso al inicio del embarazo, kg, mediana (rango IQ)	58 (8.4)
Altura, cm, mediana (rango IQ)	165 (9)
IMC, kg/m2, mediana (rango IQ)	21.08 (1.32)
Nº de gestaciones, mediana, (rango IQ)	2 (2)
Nº de partos, mediana, (rango IQ)	0 (1)
Semanas de gestación en el momento de realizar la ecografía, mediana (rango IQ)	27+3 (1.85)

4.2. CONCORDANCIA INTEROBSERVADORAS.

En primer lugar, se decidió evaluar la concordancia interobservadora, ya que los datos acerca de la respuesta fetal fueron analizados por 3 observadoras distintas, realizándose de este modo 3 bases de datos independientes. El objetivo de realizar el análisis interobservadora fue conocer si este protocolo de estudio presentaba una metodología asociada a una incertidumbre asumible para considerarla correcta, y que pueda ser extrapolable a investigaciones futuras.

Para llevar a cabo el análisis interobservadoras se calcularon las distancias medias de Manhattan para cada variable entre cada pareja de evaluadoras (Obs 1 vs Obs 2, Obs 1 vs Obs 3 y Obs 2 vs Obs 3). Así mismo, en las siguientes Fig.s (Fig. 19, 20 y 21) se presentan *heatmaps* que representan las diferencias individuales para cada observación.

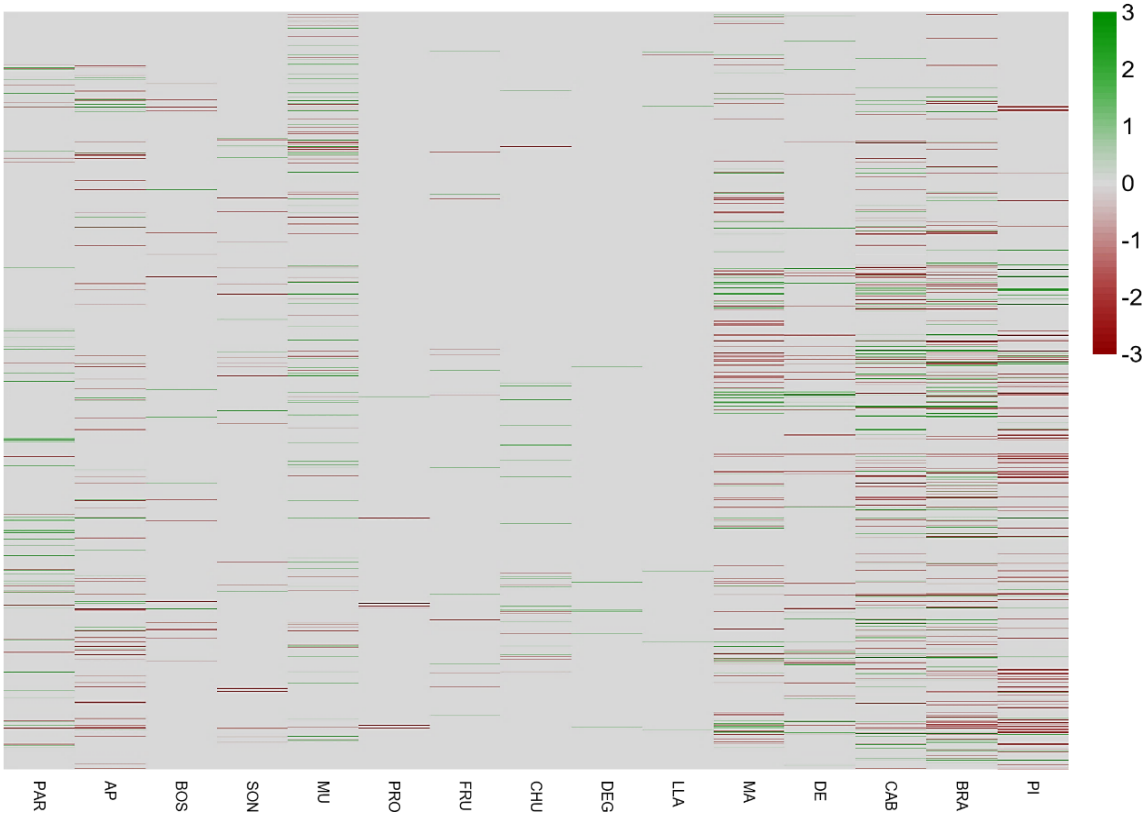
A partir de los resultados presentados en los *heatmaps* de diferencias individuales comprobamos que protrusión de la lengua, deglución, llanto chupeteo, sonrisa, bostezo, fruncimiento de ceño, parpadeo, movimiento de los dedos, apertura de boca y mueca evidencian una variabilidad baja.

En cambio, las variables movimiento de brazos, manos, dedos, piernas y cabeza son las que presentan un mayor número de diferencias y éstas son de mayor magnitud. Se puede observar, además, que dichas diferencias no son aleatorias, sino que existe un sesgo de la observadora 3: en la Fig. 19 comprobamos que la mayoría de las diferencias son negativas (rojas) y en la Fig. 20 que la mayoría son positivas (verdes).

En el heatmap representado en la Fig. 19, el color gris representa la máxima concordancia interobservadora, el color verde representa diferencias positivas (Obs1 – Obs 2 > 0) y el rojo diferencias negativas (Obs1 – Obs2 < 0).

En este caso la mayor concordancia la observamos en los movimientos protrusión de lengua, fruncimiento de ceño, chupeteo, deglución y llanto. En cambio, en los movimientos de cabeza y extremidades ha existido una mayor variabilidad.

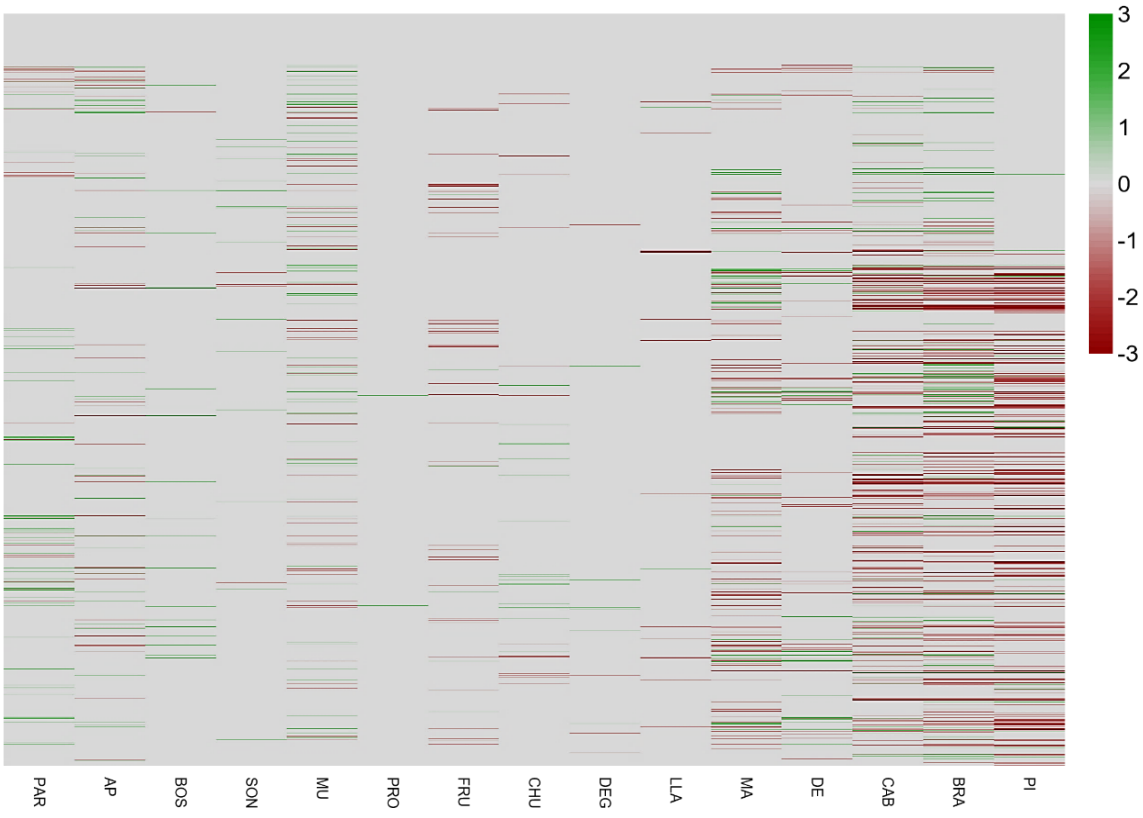
Figura 19.
Heatmap que muestra la comparativa de las distancias de Manhattan Obs 1 vs Obs 2.
PAR: parpadeo; AP: apertura de boca; BOS: bostezo; SON: sonrisa; MU: mueca; PRO: protrusión de la lengua; FRU: fruncimiento de ceño; CHU: chupeteo; DEG: deglución; LLA: llanto; MA: mano; DE: dedos: CAB: cabeza; BRA: brazos; PI: pies.



En el heatmap representado en la Fig. 20, el color gris representa la máxima concordancia interobservadora, el color verde representa diferencias positivas (Obs1 – Obs 3 > 0) y el rojo diferencias negativas (Obs1 – Obs3 < 0).

Los movimientos bostezo, sonrisa, protrusión de lengua, deglución y llanto han obtenido la mayor concordancia. En cambio, en los movimientos de cabeza y extremidades ha existido mayor variabilidad, presentando una mayor diferencia negativa (rojo), debido a que la observadora 3 ha otorgado valores más altos a esos movimientos.

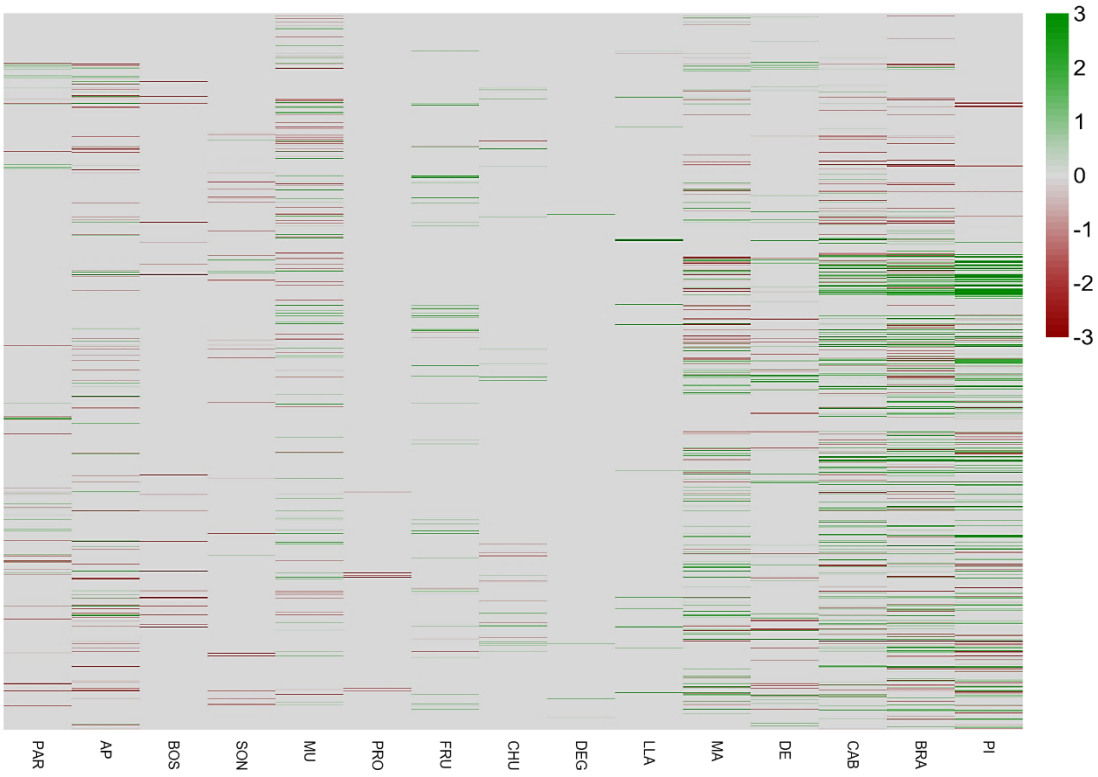
Figura 20.
Heatmap que muestra la comparativa de las distancias de Manhattan Obs 1 vs Obs 3.
PAR: parpadeo; AP: apertura de boca; BOS: bostezo; SON: sonrisa; MU: mueca; PRO: protrusión de la lengua; FRU: fruncimiento de ceño; CHU: chupeteo; DEG: deglución; LLA: llanto; MA: mano; DE: dedos: CAB: cabeza; BRA: brazos; PI: pies.



En el heatmap representado en la Fig. 21, el color gris representa la máxima concordancia interobservadora, el color verde representa diferencias positivas (Obs2 – Obs 3 > 0) y el rojo diferencias negativas (Obs2 – Obs3 < 0).

Los movimientos bostezo, sonrisa, protrusión de lengua, chupeteo, deglución y llanto han obtenido la mayor concordancia. En cambio, en los movimientos de cabeza y extremidades ha existido mayor variabilidad, presentando una mayor diferencia positiva (verde), debido a que la observadora 3 ha otorgado valores más altos a esos movimientos.

Figura 21.
Heatmap que muestra la comparativa de las distancias de Manhattan Obs 2 vs Obs 3.
PAR: parpadeo; AP: apertura de boca; BOS: bostezo; SON: sonrisa; MU: mueca; PRO: protrusión de la lengua; FRU: fruncimiento de ceño; CHU: chupeteo; DEG: deglución; LLA: llanto; MA: mano; DE: dedos: CAB: cabeza; BRA: brazos; PI: pies.



Las distancias totales medias de Manhattan obtenidas para cada variable (movimiento fetal), así como las distancias medias por observación, se describen a continuación en la Tabla 3, ordenadas de menos a más: se observa una variabilidad baja en protrusión de la lengua, deglución, llanto chupeteo, sonrisa, bostezo, fruncimiento de ceño, parpadeo, movimiento de los dedos, apertura de boca y mueca. Las restantes presentan una variabilidad aumentada, siendo movimiento de brazos la que tiene un valor mayor de todos.

Comprobamos que a partir de estos resultados se extraen prácticamente las mismas observaciones que las obtenidas a partir de los *heatmaps* de diferencias individuales.

Tabla 3.
Distancias totales medias de Manhattan para las variables de estudio, ordenadas de menor a mayor.

MOVIMIENTO FETAL	DISTANCIA TOTAL	DISTANCIA POR OBSERVACIÓN
Protrusión de lengua	12,67	0,008
Deglución	14,67	0,009
Llanto	27,34	0,017
Chupeteo	45,33	0,027
Sonrisa	46,67	0,028
Bostezo	51,33	0,031
Fruncimiento de ceño	65,33	0,04
Parpadeo	100	0,061
Dedos	135,33	0,082
Apertura de boca	162,67	0,099
Mueca	189,33	0,115
Mano	310	0,188
Cabeza	440,16	0,267
Piernas	530	0,321
Brazos	531,33	0,322

4.3. RESPUESTA FETAL ANTE ESTÍMULOS MUSICALES.

El objetivo principal de la presente tesis doctoral es evaluar la respuesta fetal, en forma de distintos movimientos fetales, ante las características musicales de la voz materna (estímulos musicales). En nuestro estudio, hemos considerado que una probabilidad de efecto > 80% supone una probabilidad moderada de que realmente exista ese efecto, que una probabilidad de efecto > 90% implica una probabilidad elevada de que exista ese efecto y que una probabilidad de efecto > 95% implica una casi certeza de que exista dicho efecto. En las tablas de resultados de cada modelo se presentan las estimaciones puntuales para cada uno de los efectos de las distintas variables analizadas, así como sus intervalos de credibilidad al 95% y la probabilidad estimada de que dicho efecto exista realmente.

4.3.1. Parpadeo.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal por el movimiento parpadeo queda registrada en la Tabla 4. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de parpadeo en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
    - El movimiento de parpadeo disminuyó con un Odds Ratio (OR) de 0.44 ante el estímulo caos. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del parpadeo debido al caos es superior al 99.99%.
    - El movimiento de parpadeo disminuyó con un OR = 0.70 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del parpadeo debido al orden es del 94%.
    - El movimiento de parpadeo disminuyó con un OR = 0.79 ante el silencio. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del parpadeo debido al silencio es del 88.4%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de parpadeo en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de parpadeo aumentó con un OR = 1.91 ante el estímulo timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del parpadeo debido al timbre modificado es del 97.6%.
  - El movimiento de parpadeo aumentó con un OR = 1.65 ante el estímulo melodía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del parpadeo debido a melodía modificada es del 93.4%.
  - El movimiento de parpadeo aumentó con un OR = 1.43 ante el estímulo armonía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del parpadeo debido a armonía modificada es del 85.1%.
  - El movimiento de parpadeo aumentó con un OR = 1.23 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del parpadeo debido a velocidad lento es del 81.0%.

Dinámica modificada y velocidad rápido, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de parpadeo.

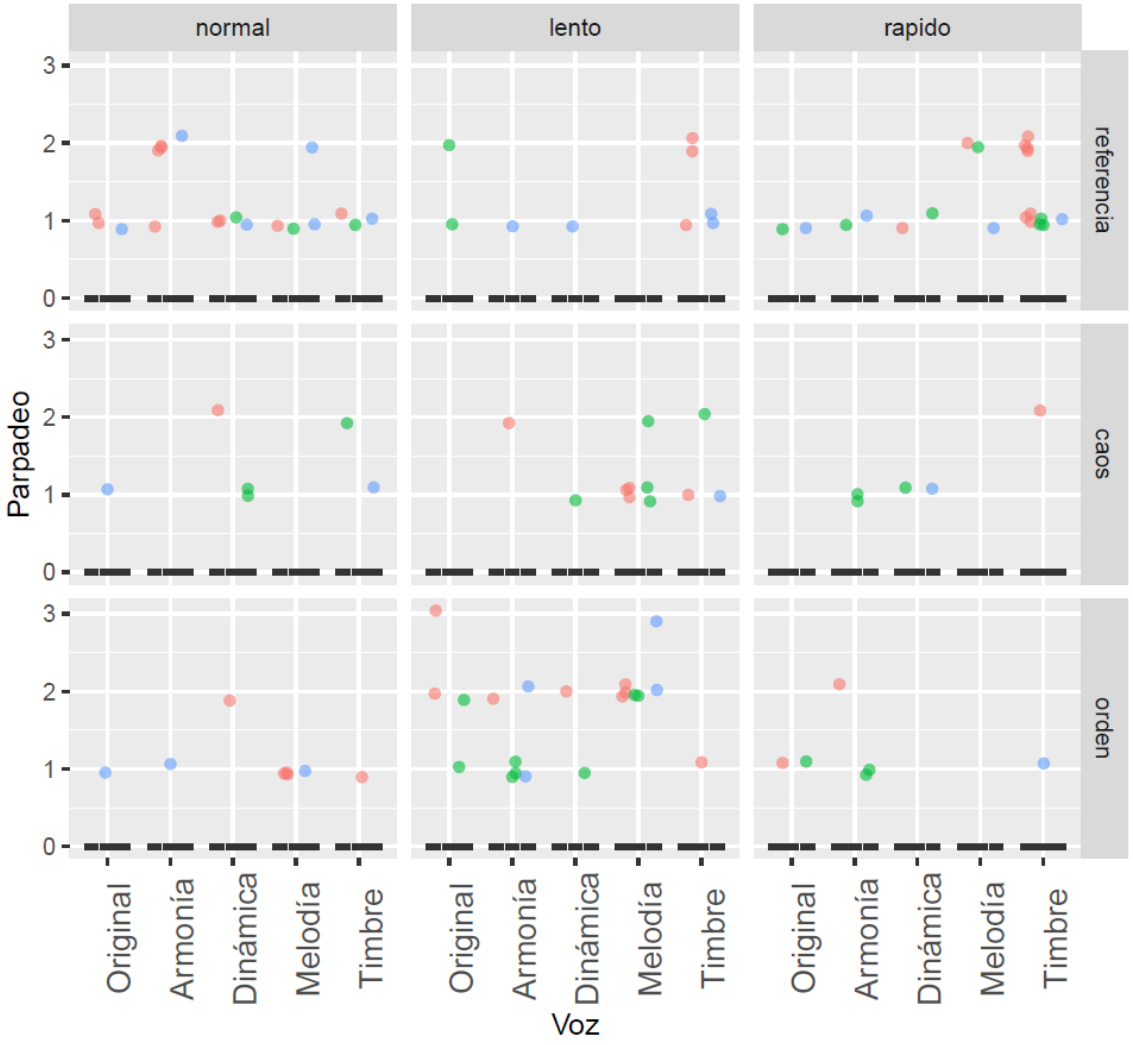
Tabla 4.
Movimiento de parpadeo.

Variables	Estimate	Std. Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	3.44	0.541	31.201	9.53	82.306	1.000
Intercept[2]	4.549	0.567	94.561	27.046	264.106	1.000
Intercept[3]	7.49	0.921	1789.242	323.601	12144.188	1.000
vozarmonia_modificada	0.359	0.348	1.432	0.721	2.811	0.851
vozdinámica_modificada	0.064	0.362	1.066	0.52	2.19	0.572
vozmelodia_modificada	0.5	0.333	1.649	0.866	3.206	0.934
voztimbre_modificado	0.649	0.33	1.913	1.005	3.663	0.976
organizacioncaos	-0.813	0.261	0.443	0.266	0.738	1.000
organizacionorden	-0.354	0.229	0.702	0.447	1.103	0.940
velocidadlento	0.21	0.236	1.233	0.78	1.969	0.810
velocidadrapido	-0.06	0.256	0.942	0.567	1.547	0.585
silencio	-0.236	0.199	0.79	0.528	1.166	0.884
evaluadora	0.65	0.641	-	0.031	2.531	

El modelo también proporciona una estimación de la variabilidad en los resultados introducida por la no concordancia entre observadores. En este caso su valor es de 0.65 en la escala logit.

En la Fig. 22 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimientos de parpadeo para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 22.
Movimientos de parpadeo para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.2. Apertura de boca.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal por el movimiento apertura de boca queda registrada en la Tabla 5. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de apertura de boca en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia**:
    - El movimiento de apertura de boca disminuyó con un OR = 0.66 ante el estímulo caos. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la apertura de boca debido al caos es del 99.2%.
    - El movimiento de apertura de boca disminuyó con un OR = 0.73 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la apertura de boca debido al orden es del 96.8%.
    - El movimiento de apertura de boca disminuyó con un OR = 0.71 ante el estímulo armonía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la apertura de boca debido a la armonía modificada es del 92.0%.
    - El movimiento de apertura de boca disminuyó con un OR = 0.74 ante el estímulo melodía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la apertura de boca debido a la melodía modificada es del 91.6%.

Dinámica modificada, timbre modificado, velocidad lento, velocidad rápido y silencio presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de apertura de boca.

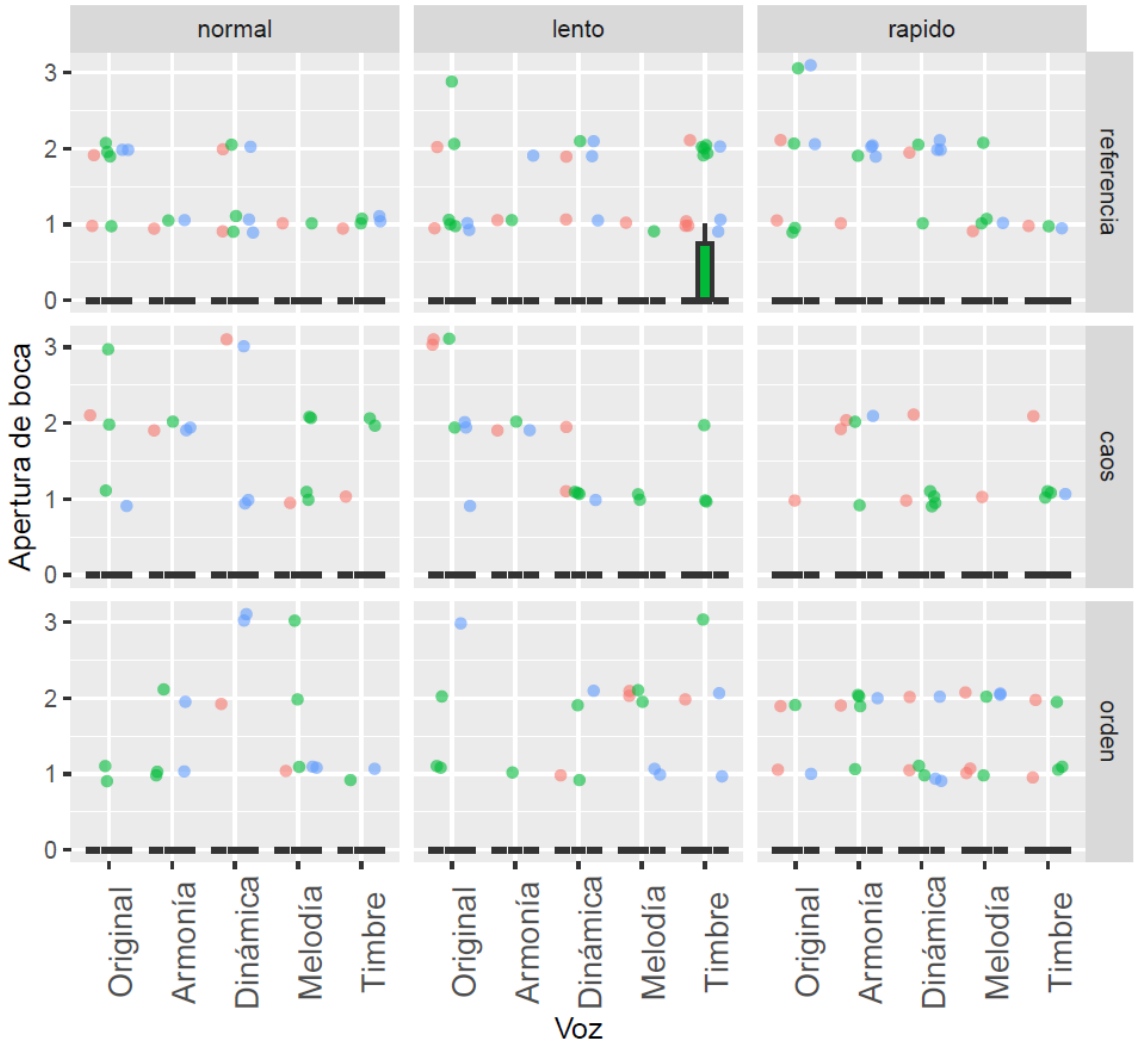
Tabla 5.
Movimiento de apertura de boca.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	2.097	0.91	8.142	0.595	24.67	0.949
Intercept[2]	2.874	0.91	17.705	1.314	54.673	0.990
Intercept[3]	4.893	0.943	133.394	9.98	472.437	1.000
vozarmonia_modificada	-0.337	0.231	0.714	0.458	1.119	0.920
vozdinámica_modificada	0.04	0.208	1.041	0.699	1.568	0.571
vozmelodia_modificada	-0.308	0.225	0.735	0.475	1.146	0.916
voztimbre_modificado	-0.082	0.211	0.922	0.603	1.39	0.651
organizacioncaos	-0.423	0.181	0.655	0.463	0.927	0.992
organizacionorden	-0.309	0.167	0.734	0.53	1.017	0.968
velocidadlento	0.144	0.176	1.155	0.805	1.631	0.797
velocidadrapido	0.135	0.173	1.144	0.816	1.613	0.785
silencio	-0.108	0.138	0.898	0.685	1.176	0.783
evaluadora	1.057	1.013	-	0.16	3.913	

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida al observador, su valor es de 1.06 en la escala logit.

En la Fig. 23 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de apertura de boca para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 23.
Movimientos de apertura de boca para las distintas combinaciones de las variables de los estímulos musicales. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.3. Bostezo.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal por el movimiento de bostezo queda registrada en la Tabla 6. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de bostezo en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**

- El movimiento de bostezo disminuyó con un OR = 0.64 ante el estímulo timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista efecto es del 84.4%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de bostezo en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de bostezo aumentó con un OR = 1.36 ante el estímulo caos, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 84.3%.
  - El movimiento de bostezo aumentó con un OR = 1.38 ante el estímulo dinámica modificada, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 81.3%.

Armonía modificada, melodía modificada, orden, velocidad lento, velocidad rápido y silencio presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de bostezo.

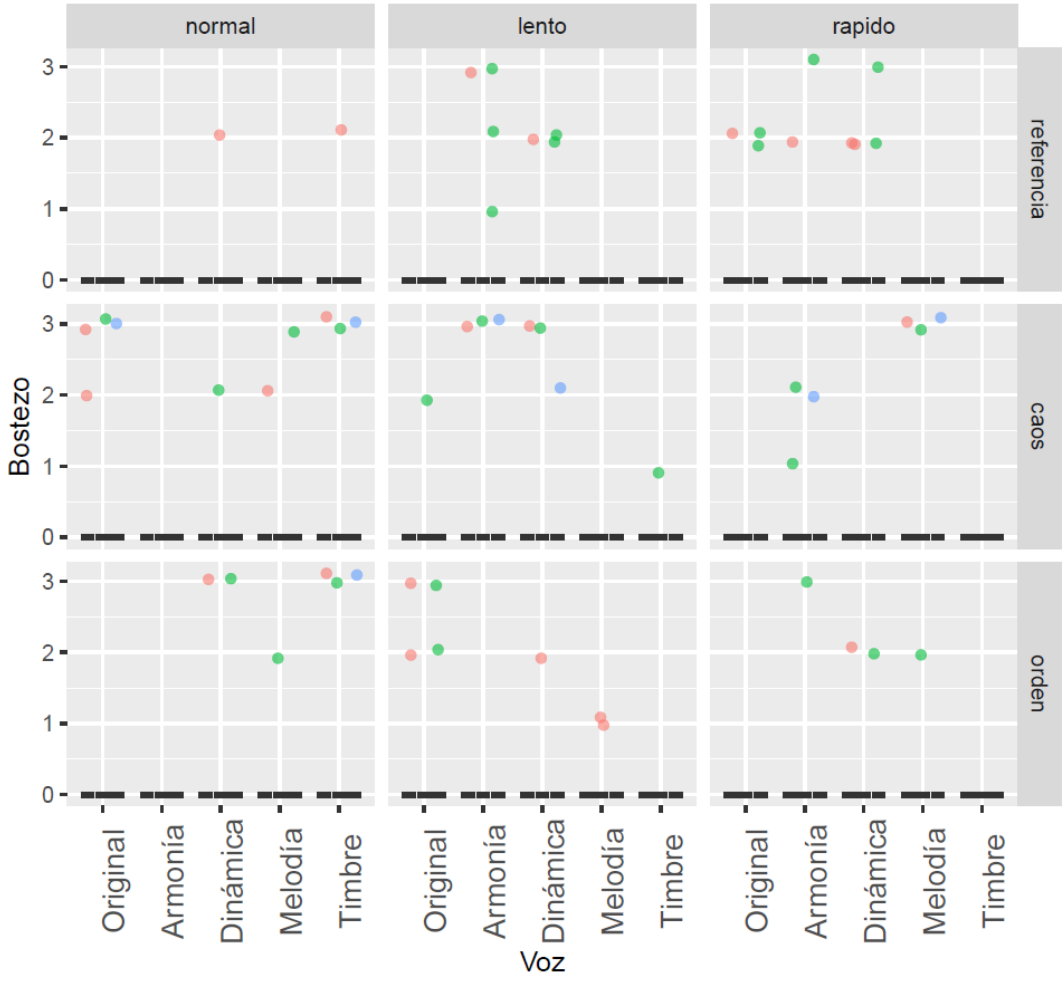
Tabla 6.
Movimiento de bostezo.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	2.633	1.778	13.921	0.333	181.066	0.885
Intercept[2]	2.74	1.777	15.49	0.372	205.976	0.892
Intercept[3]	3.465	1.779	31.989	0.781	432.156	0.963
vozarmonia_modificada	0.057	0.397	1.058	0.491	2.327	0.552
vozdinámica_modificada	0.322	0.373	1.379	0.679	2.939	0.813
vozmelodia_modificada	-0.321	0.429	0.725	0.313	1.744	0.784
voztimbre_modificado	-0.443	0.459	0.642	0.254	1.596	0.844
organizacioncaos	0.31	0.307	1.364	0.742	2.493	0.843
organizacionorden	-0.048	0.333	0.953	0.486	1.814	0.547
velocidadlento	0.183	0.317	1.201	0.653	2.311	0.718
velocidadrapido	0.053	0.331	1.054	0.569	1.997	0.566
silencio	-0.115	0.258	0.891	0.54	1.492	0.682
evaluadora	2.338	1.495	-	0.373	5.548	

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a las observadoras, su valor es de 2.34 en la escala logit.

En la Fig. 24 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de bostezo para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 24.
Movimientos de bostezo para las distintas combinaciones de las variables de los estímulos musicales. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.4. Sonrisa.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal por el movimiento sonrisa está detallada en la Tabla 7. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de sonrisa en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
    - El movimiento de sonrisa disminuyó con un OR = 0.70 ante el estímulo velocidad rápida, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 85.9%.
    - El movimiento de sonrisa disminuyó con un OR = 0.74 ante el estímulo caos, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 80.4%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de sonrisa en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
    - El movimiento de sonrisa aumentó con un OR = 1.91 ante el estímulo melodía modificada, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 95.6%.
    - El movimiento de sonrisa aumentó con un OR = 1.39 ante el silencio, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 89.8%.
    - El movimiento de sonrisa aumentó con un OR = 1.28 ante el estímulo orden, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 80.5%.

Tabla 7.
Movimiento de sonrisa.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	1.963	2.398	7.124	0.029	204.197	0.788
Intercept[2]	2.778	2.416	16.082	0.059	480.008	0.866
Intercept[3]	4.984	2.582	146.022	0.312	6208.084	0.932
vozarmonia_modificada	0.205	0.418	1.228	0.543	2.826	0.693
vozdinámica_modificada	0.177	0.419	1.193	0.519	2.751	0.678
vozmelodia_modificada	0.647	0.384	1.91	0.903	4.212	0.956
voztimbre_modificado	-0.379	0.482	0.684	0.255	1.74	0.793
organizacioncaos	-0.296	0.343	0.744	0.383	1.455	0.804
organizacionorden	0.244	0.299	1.276	0.699	2.391	0.805
velocidadlento	0.055	0.294	1.057	0.597	1.89	0.585
velocidadrapido	-0.365	0.34	0.695	0.349	1.285	0.859
silencio	0.332	0.261	1.393	0.864	2.33	0.898
evaluadora	3.041	1.94	-	0.468	7.204	

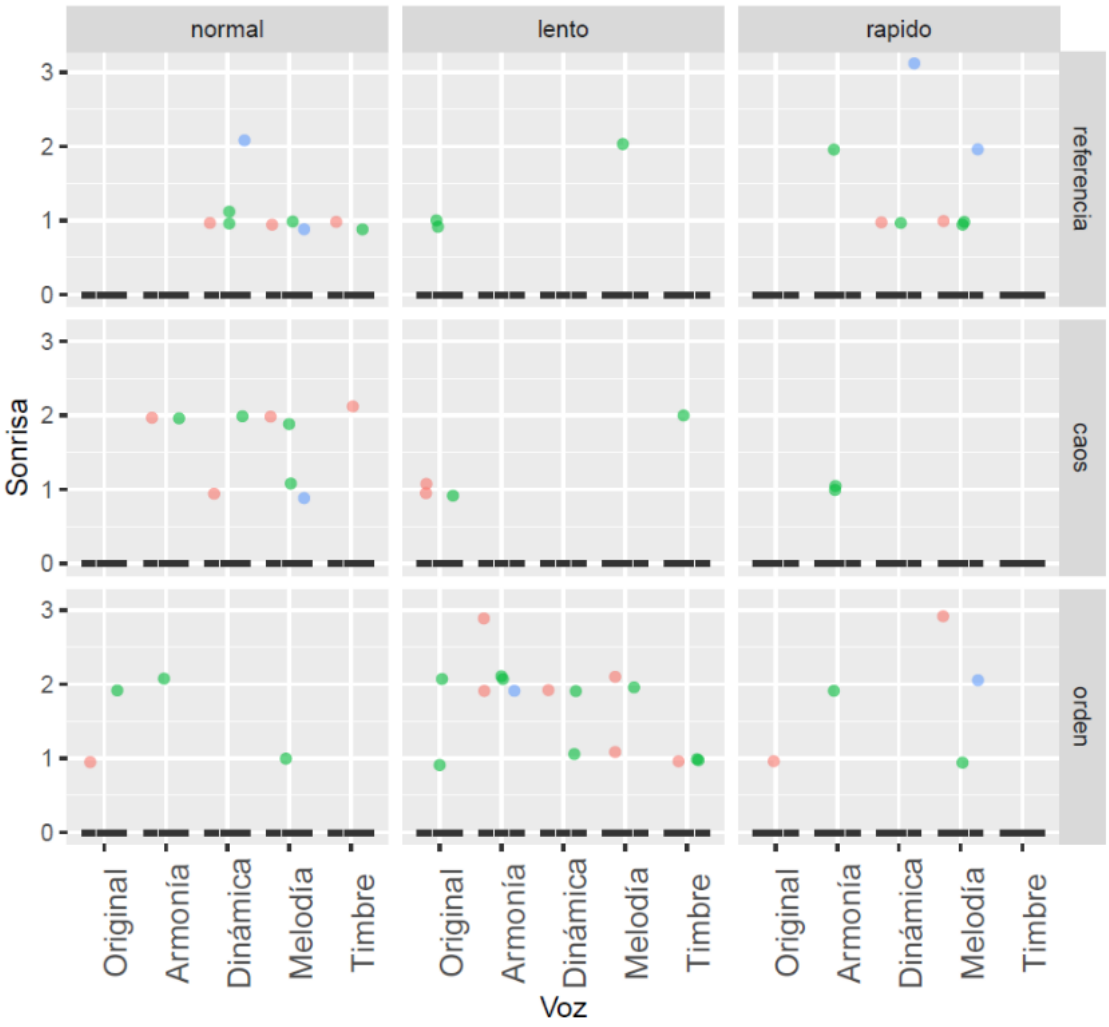
Armonía modificada, dinámica modificada, timbre modificado y velocidad lento, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de sonrisa.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 3.04 en la escala logit.

En la Fig. 25 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de sonrisa para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 25.

Movimientos de sonrisa para las distintas combinaciones de las variables de los estímulos musicales. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.5. Mueca.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal para el movimiento mueca queda registrada en la Tabla 8. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de mueca en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de mueca disminuyó con un OR = 0.78 ante el estímulo silencio. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la mueca debido al silencio es del 96.9%.
- **Variables que aumentaron el movimiento de mueca en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de mueca aumentó con un OR = 1.33 ante el estímulo timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la mueca debido al timbre modificado es del 89.9%.

Tabla 8.
Movimiento de mueca.

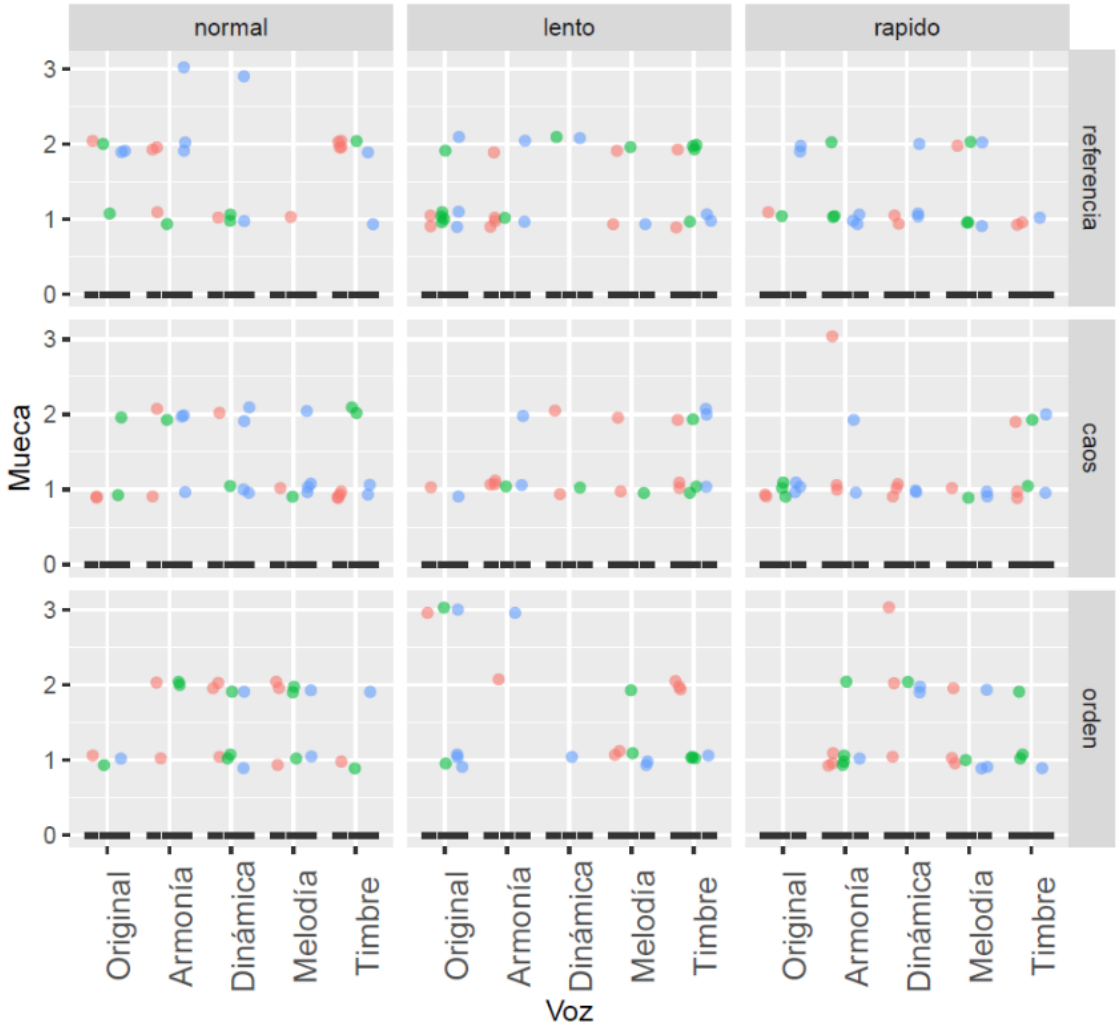
Variables	Estimate	Std. Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	2.684	0.301	14.645	7.439	25.3	1.000
Intercept[2]	3.702	0.312	40.53	19.62	71.731	1.000
Intercept[3]	6.171	0.445	478.586	206.463	1189.967	1.000
vozarmonia_modificada	0.183	0.217	1.2	0.792	1.834	0.797
vozdinámica_modificada	-0.051	0.226	0.951	0.614	1.463	0.585
vozmelodia_modificada	0.051	0.225	1.052	0.668	1.614	0.590
voztimbre_modificado	0.281	0.216	1.325	0.868	2.011	0.899
organizacioncaos	0.017	0.16	1.017	0.748	1.391	0.537
organizacionorden	-0.082	0.165	0.921	0.665	1.27	0.698
velocidadlento	-0.064	0.161	0.938	0.685	1.286	0.650
velocidadrapido	-0.056	0.164	0.945	0.682	1.295	0.634
silencio	-0.247	0.132	0.781	0.605	1.013	0.969
evaluadora	0.259	0.285	-	0.006	1.022	

Armonía modificada, dinámica modificada, melodía modificada, caos, orden, velocidad lento y velocidad rápido, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de mueca.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 0.26 en la escala logit.

En la Fig. 26 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de mueca para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 26.
Movimientos de mueca para las distintas combinaciones de las variables de los estímulos musicales. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.6. Protrusión de lengua.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal para el movimiento protrusión de lengua queda registrada en la Tabla 9. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de protrusión de lengua en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de protrusión de lengua disminuyó con un OR = 0.14 ante el estímulo melodía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la protrusión de la lengua debido a la melodía modificada es del 86.7%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de protrusión de lengua en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de protrusión de lengua aumentó con un OR = 3.55 ante el estímulo velocidad lento, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 90.9%.
  - El movimiento de protrusión de lengua aumentó con un OR = 3.35 ante el estímulo timbre modificado, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 88.2%.
  - El movimiento de protrusión de lengua aumentó con un OR = 2.61 ante el estímulo caos, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 88.2%. del 83.1%.
  - El movimiento de protrusión de lengua aumentó con un OR = 2.59 ante el estímulo orden, con una probabilidad de que realmente exista efecto del 88.2%. del 82.7%.

Armonía modificada, dinámica modificada, velocidad rápido y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de protrusión de lengua.

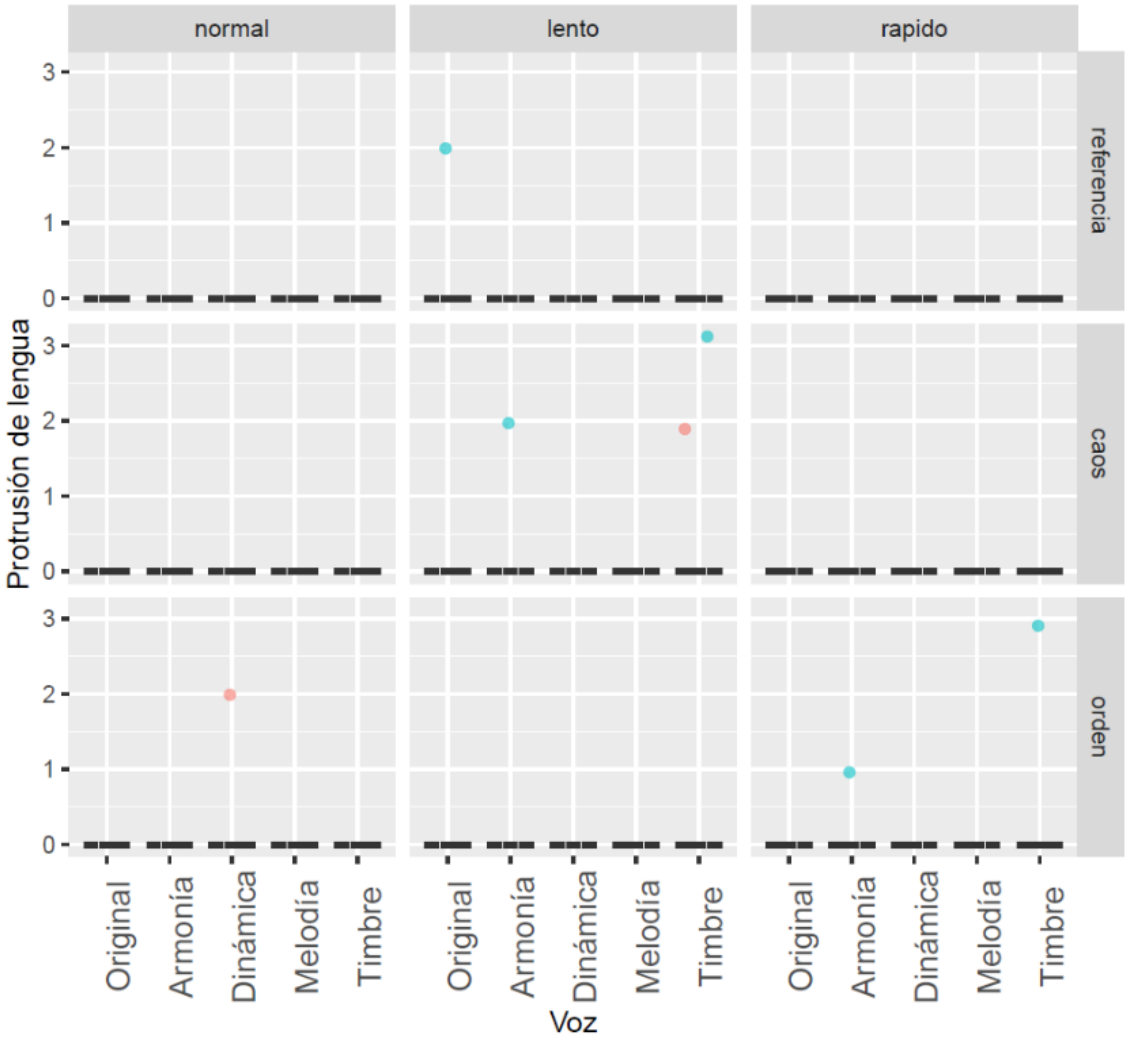
Tabla 9.
Movimiento de protrusión de lengua.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	2.139	2.588	8.491	0.118	4158.782	0.814
Intercept[2]	2.431	2.589	11.37	0.153	5665.434	0.850
Intercept[3]	3.744	2.628	42.283	0.533	23525.271	0.951
vozarmonia_modificada	0.732	1.12	2.08	0.23	19.729	0.743
vozdinámica_modificada	-0.057	1.3	0.944	0.059	11.003	0.503
vozmelodia_modificada	-1.968	1.849	0.14	0.002	3.466	0.867
voztimbre_modificado	1.211	1.061	3.357	0.45	28.34	0.882
organizacioncaos	0.96	1.035	2.611	0.373	23.494	0.831
organizacionorden	0.951	1.035	2.589	0.372	23.192	0.827
velocidadlento	1.267	1.011	3.55	0.566	31.847	0.909
velocidadrapido	0.506	1.101	1.659	0.207	15.938	0.678
silencio	-0.294	0.769	0.745	0.161	3.33	0.649
evaluadora	7.825	4.081	-	1.539	18.37	

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a las observadoras, su valor es de 7.83 en la escala logit.

En la Fig. 27 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de protrusión de lengua para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 27.
Movimientos de mueca para las distintas combinaciones de las variables de los estímulos musicales. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.7. Fruncimiento de ceño.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal para el movimiento fruncimiento de ceño queda registrada en la Tabla 10. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de fruncimiento de ceño en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**

- El movimiento de fruncimiento de ceño disminuyó con un OR = 0.39 ante el estímulo melodía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del fruncimiento de ceño debido a la melodía modificada es del 97.6%.
- El movimiento de fruncimiento de ceño disminuyó con un OR = 0.53 ante el estímulo timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del fruncimiento de ceño debido al timbre modificado es del 93.5%.
- El movimiento de fruncimiento de ceño disminuyó con un OR = 0.67 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del fruncimiento de ceño debido a velocidad lento es del 88.2%.

Armonía modificada, dinámica modificada, caos, orden, velocidad rápido y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de fruncimiento de ceño.

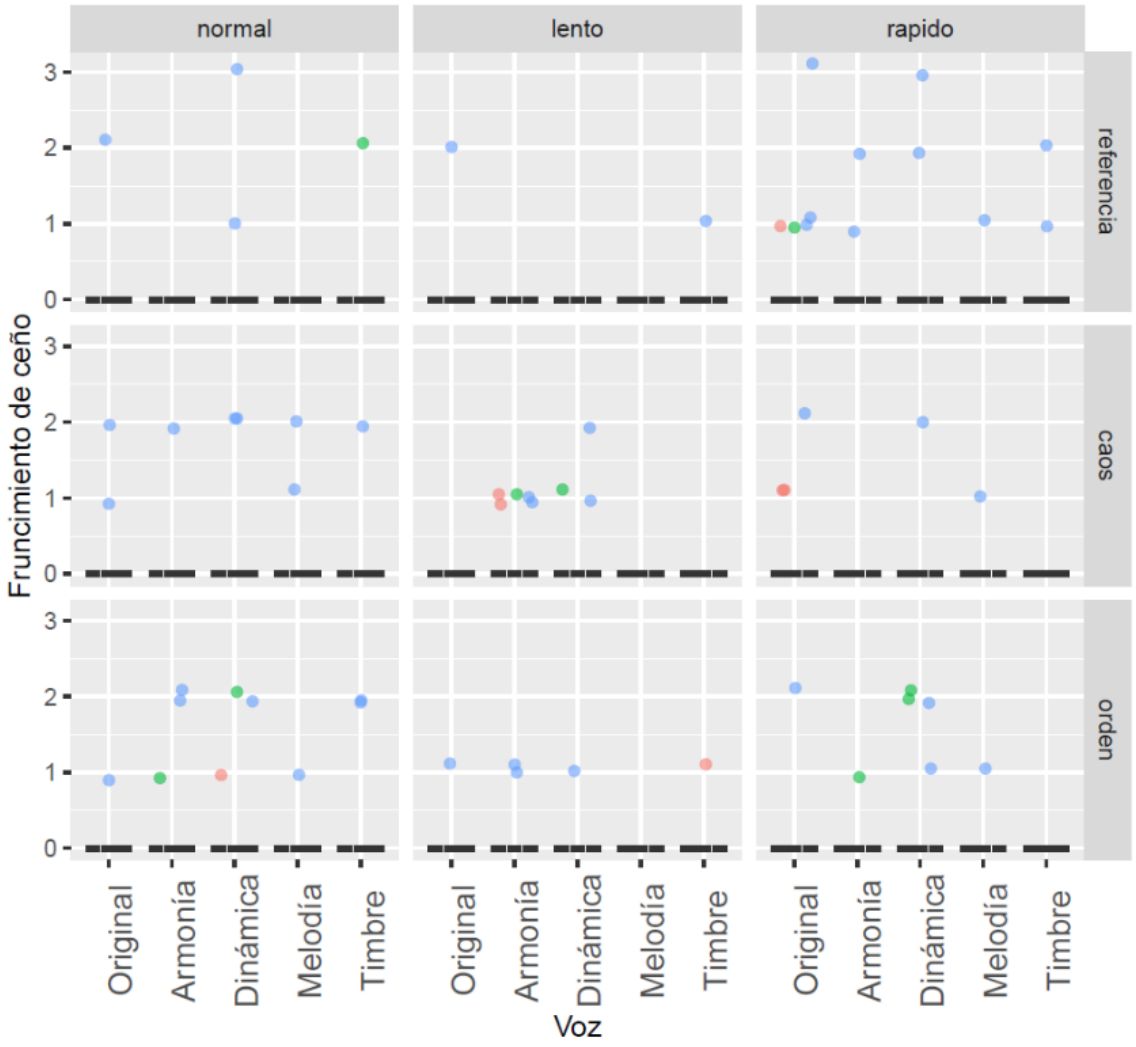
Tabla 10.
Movimiento de fruncimiento de ceño.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	1.563	2.05	4.773	0.101	153.388	0.750
Intercept[2]	2.37	2.047	10.701	0.231	340.485	0.858
Intercept[3]	4.676	2.111	107.338	1.902	4410.544	0.993
vozarmonia_modificada	-0.058	0.377	0.944	0.453	1.977	0.558
vozdinámica_modificada	0.22	0.352	1.245	0.624	2.485	0.729
vozmelodia_modificada	-0.951	0.488	0.386	0.142	0.993	0.976
voztimbre_modificado	-0.636	0.437	0.529	0.216	1.195	0.935
organizacioncaos	0.153	0.326	1.166	0.624	2.223	0.672
organizacionorden	0.187	0.329	1.205	0.633	2.312	0.711
velocidadlento	-0.403	0.339	0.668	0.346	1.289	0.882
velocidadrapido	0.095	0.306	1.099	0.612	2.063	0.622
silencio	0.103	0.261	1.109	0.668	1.84	0.651
evaluadora	3.374	1.915	-	0.726	7.683	

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 3.37 en la escala logit.

En la Fig. 28 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos del movimiento fruncimiento de ceño para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 28.
Movimiento de fruncimiento de ceño para las distintas combinaciones de las variables de los estímulos musicales. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.8. Chupeteo.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal para el movimiento chupeteo queda registrada en la Tabla 11 e ilustradas en la Fig. 29. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de chupeteo en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
    - El movimiento de chupeteo disminuyó con un OR = 0.38 ante el estímulo velocidad rápido. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del chupeteo debido a velocidad rápido es superior al 99.99%.
    - El movimiento de chupeteo disminuyó con un OR = 0.29 ante el estímulo dinámica modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del chupeteo debido a la dinámica modificada es del 99.7%.
    - El movimiento de chupeteo disminuyó con un OR = 0.34 ante el estímulo timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del chupeteo debido al timbre modificado es del 99.5%.
    - El movimiento de chupeteo disminuyó con un OR = 0.48 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del chupeteo debido a velocidad lento es del 99.3%.
    - El movimiento de chupeteo disminuyó con un OR = 0.59 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del chupeteo debido al orden es del 96.3%.
    - El movimiento de chupeteo disminuyó con un OR = 0.62 ante el estímulo caos. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del chupeteo debido al caos es del 94.7%.

Tabla 11.
Movimiento de chupeteo.

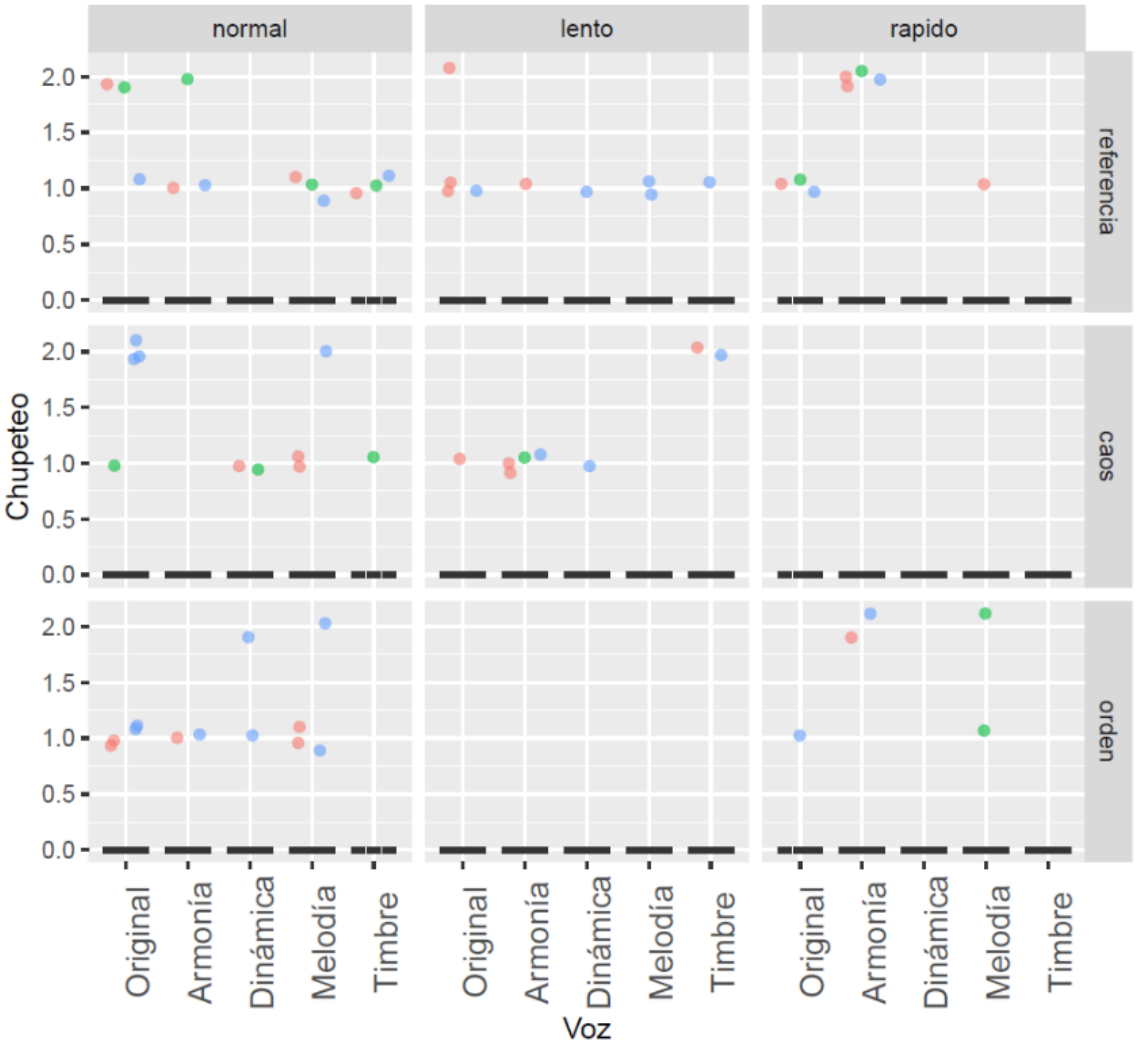
Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	2.771	0.757	15.97	1.859	51.544	1.000
Intercept[2]	4.011	0.806	55.181	5.216	195.543	1.000
vozarmonia_modificada	-0.22	0.334	0.803	0.411	1.53	0.747
vozdinámica_modificada	-1.239	0.476	0.29	0.108	0.69	0.997
vozmelodia_modificada	-0.296	0.345	0.744	0.381	1.441	0.799
voztimbre_modificado	-1.083	0.453	0.339	0.131	0.807	0.995
organizacioncaos	-0.479	0.304	0.619	0.334	1.097	0.947
organizacionorden	-0.535	0.308	0.585	0.32	1.048	0.963
velocidadlento	-0.725	0.304	0.484	0.269	0.867	0.993
velocidadrapido	-0.974	0.332	0.378	0.187	0.693	1.000
silencio	0.202	0.251	1.224	0.746	2.008	0.792
evaluadora	0.951	0.878	-	0.061	3.273	

El resto de las variables, armonía modificada, melodía modificada y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de chupeteo.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 0.95 en la escala logit.

En la Fig. 29 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de chupeteo para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 29.
Movimiento de chupeteo para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.9. Deglución.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal para el movimiento deglución queda registrada en la Tabla 12 e ilustradas en la Fig. 30. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de deglución en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de deglución disminuyó con un OR = 0.04 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la deglución debido al orden es del 99.9%.

- El movimiento de deglución disminuyó con un OR = 0.13 ante el estímulo velocidad rápido. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la deglución debido a velocidad rápido es superior al 99.2%.
- El movimiento de deglución disminuyó con un OR = 0.37 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución de la deglución debido a velocidad rápido es superior al 92.9%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de deglución en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de deglución aumentó con un OR = 2.63 ante el estímulo melodía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento de la deglución debido a la melodía modificada es del 89.7%.

Tabla 12.
Movimiento de deglución.

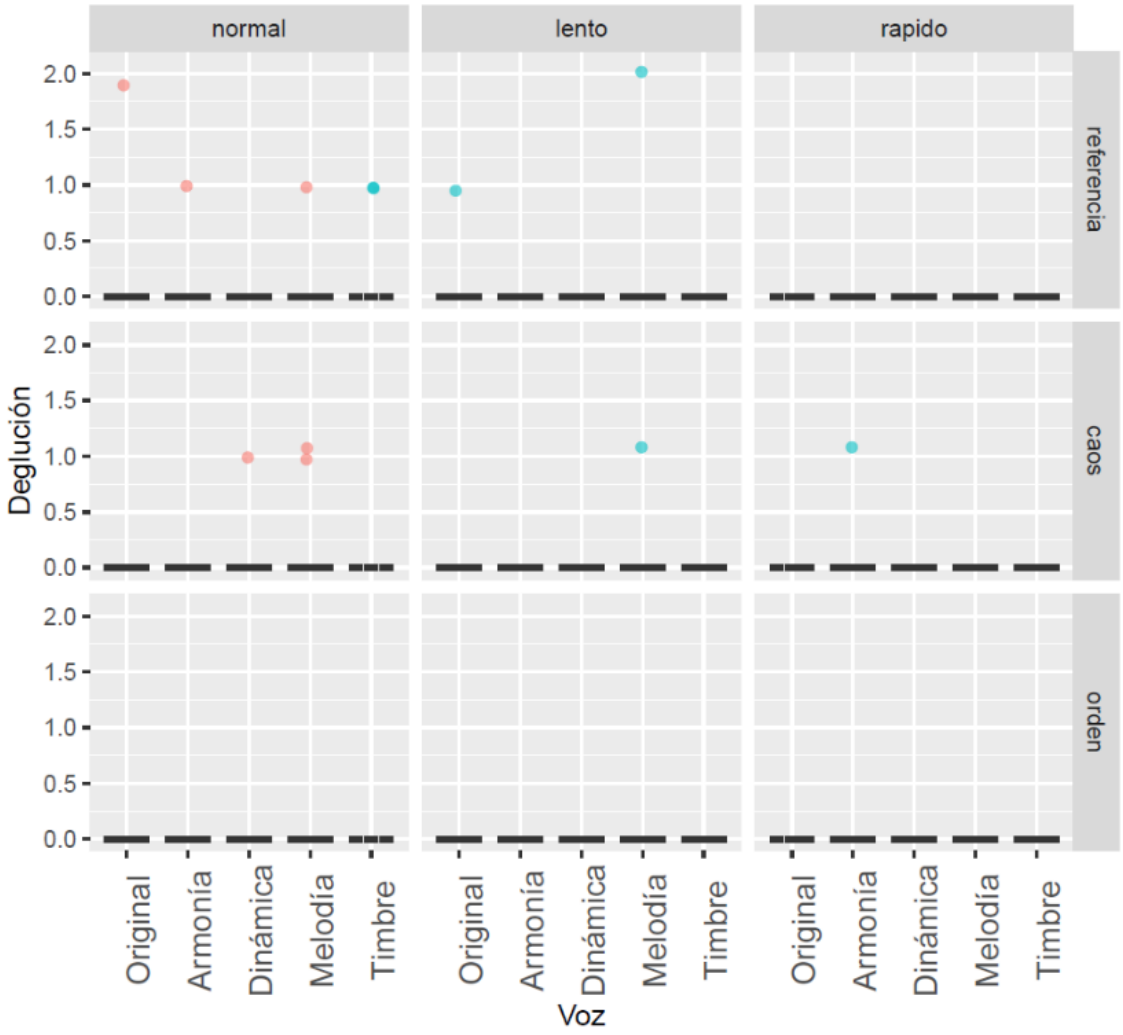
Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	1.139	3.419	3.122	0.008	849.238	0.587
Intercept[2]	3.095	3.449	22.088	0.052	7865.17	0.777
vozarmonia_modificada	-0.056	0.95	0.946	0.146	5.532	0.507
vozdinámica_modificada	-0.794	1.151	0.452	0.04	3.582	0.751
vozmelodia_modificada	0.968	0.776	2.632	0.58	12.64	0.897
voztimbre_modificado	-0.027	0.924	0.973	0.146	5.57	0.500
organizacioncaos	-0.315	0.601	0.73	0.212	2.329	0.699
organizacionorden	-3.209	1.467	0.04	0.001	0.446	0.999
velocidadlento	-0.987	0.707	0.373	0.084	1.364	0.929
velocidadrapido	-2.008	0.961	0.134	0.016	0.685	0.992
silencio	-0.323	0.585	0.724	0.225	2.189	0.705
evaluadora	5.507	4.026	-	0.518	16.144	

El resto de las variables, armonía modificada, dinámica modificada, timbre modificado, caos y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de deglución.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 5.51 en la escala logit.

En la Fig. 30 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de deglución para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 30.
Movimiento de deglución para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.10. Llanto.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal para el movimiento de llanto queda registrada en la Tabla 13 e ilustradas en la Fig. 31. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de llanto en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de llanto disminuyó con un OR = 0.12 ante el estímulo timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del llanto debido al timbre modificado es del 99.5%.
  - El movimiento de llanto disminuyó con un OR = 0.33 ante el estímulo velocidad rápido. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del llanto debido a velocidad rápido es del 94.4%.
  - El movimiento de llanto disminuyó con un OR = 0.48 ante el estímulo armonía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del llanto debido a la armonía modificada es del 89.0%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de llanto en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de llanto aumentó con un OR = 3.74 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del llanto debido a velocidad lento es del 99.9%.
  - El movimiento de llanto aumentó con un OR = 2.99 ante el estímulo caos. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del llanto debido al caos es del 98.3%.
  - El movimiento de llanto aumentó con un OR = 2.28 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del llanto debido al orden es del 94.1%.

El resto de variables: dinámica modificada, melodía modificada y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de llanto.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 4.29 en la escala logit.

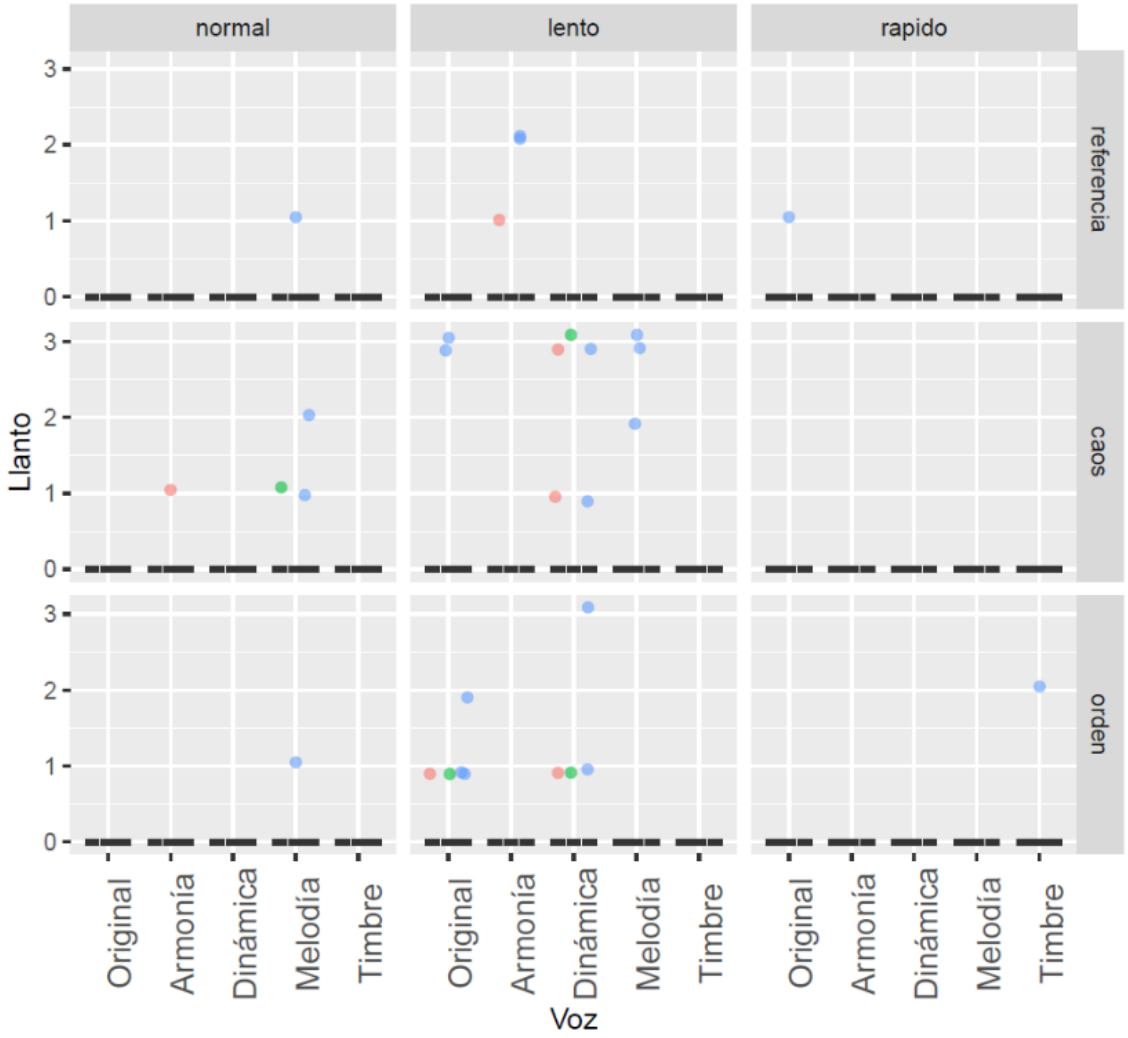
Tabla 13.
Movimiento de llanto.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	2.161	2.517	8.681	0.114	873.484	0.787
Intercept[2]	2.954	2.519	19.18	0.267	1987.742	0.882
Intercept[3]	3.592	2.534	36.305	0.444	3768.136	0.933
vozarmonia_modificada	-0.726	0.608	0.484	0.143	1.547	0.890
vozdinámica_modificada	0.115	0.493	1.122	0.452	2.97	0.579
vozmelodia_modificada	0.046	0.488	1.047	0.387	2.761	0.551
voztimbre_modificado	-2.143	1.002	0.117	0.017	0.66	0.995
organizacioncaos	1.093	0.534	2.985	1.092	8.268	0.983
organizacionorden	0.826	0.548	2.284	0.818	6.476	0.941
velocidadlento	1.318	0.445	3.737	1.627	9.313	0.999
velocidadrapido	-1.097	0.758	0.334	0.061	1.28	0.944
silencio	0.015	0.363	1.015	0.494	2.067	0.527
evaluadora	4.29	2.583	-	0.562	9.924	

En la Fig. 31 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de llanto para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 31

Movimiento de llanto para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.11. Mano.

Las variables que produjeron efectos en el movimiento de mano con una probabilidad >80% se resumen en la tabla 14 y Fig. 32:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de mano en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de mano disminuyó con un OR = 0.73 ante el estímulo melodía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del llanto debido al timbre modificado es del 97.3%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de mano en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de mano aumentó con un OR = 1.28 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de mano debido al orden es del 97.6%.

Tabla 14.
Movimiento de mano.

Variables	Estimate	Std. Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	1.932	0.438	6.903	2.368	14.527	1.000
Intercept[2]	2.827	0.441	16.9	5.582	35.941	1.000
Intercept[3]	5.385	0.505	218.144	64.873	535.487	1.000
vozarmonia_modificada	-0.121	0.16	0.886	0.648	1.208	0.774
vozdinámica_modificada	-0.098	0.158	0.907	0.664	1.231	0.729
vozmelodia_modificada	-0.316	0.165	0.729	0.529	1.006	0.973
voztimbre_modificado	-0.034	0.158	0.966	0.704	1.322	0.586
organizacioncaos	-0.021	0.132	0.979	0.757	1.278	0.566
organizacionorden	0.248	0.125	1.281	1.002	1.635	0.976
velocidadlento	0.048	0.125	1.049	0.818	1.346	0.646
velocidadrapido	-0.08	0.127	0.923	0.72	1.178	0.732
silencio	-0.083	0.1	0.92	0.755	1.122	0.795
evaluadora	0.64	0.462	-	0.145	1.855	

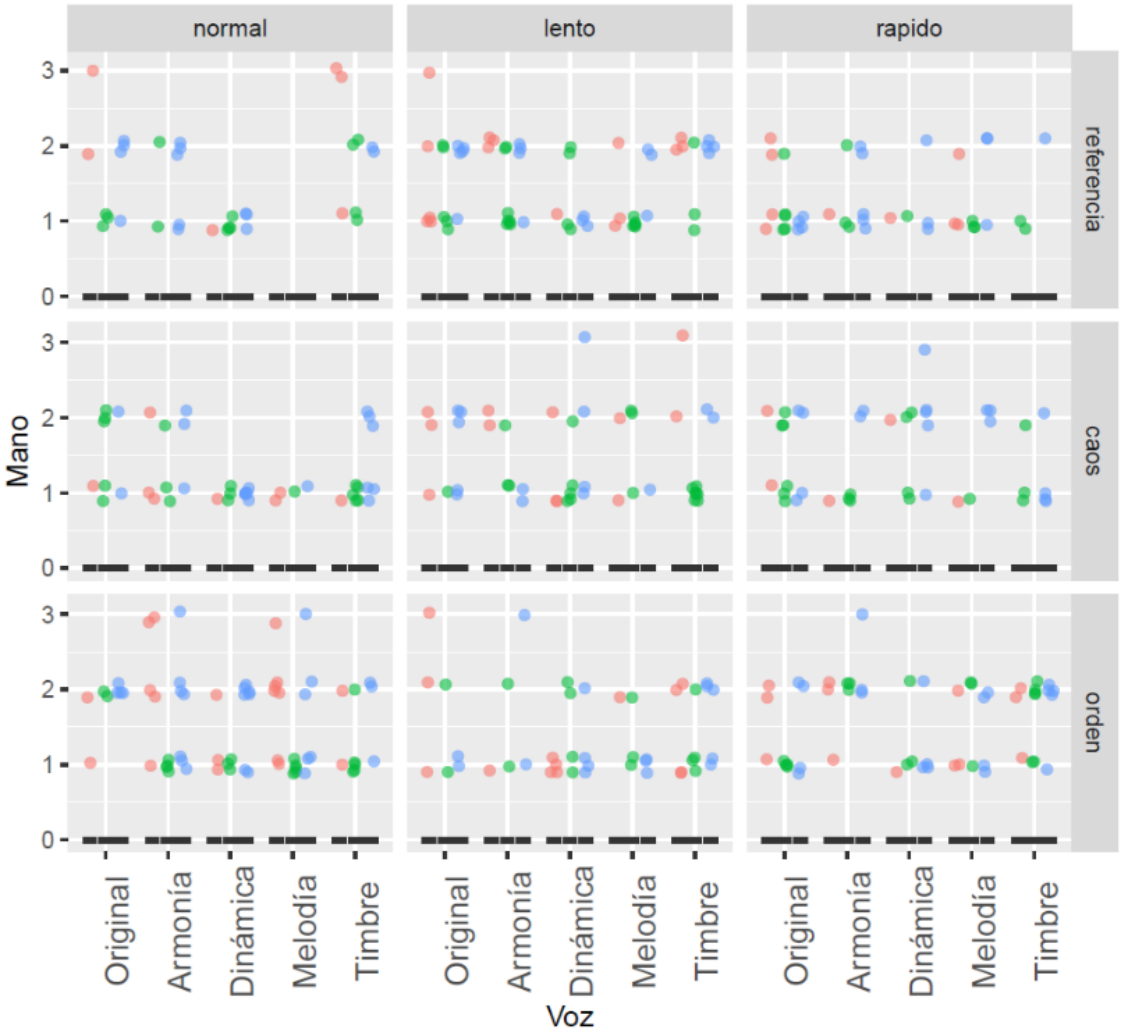
El resto de variables, armonía modificada, dinámica modificada, timbre modificado, caos, velocidad lento, velocidad rápido y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de la mano.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 0.64 en la escala logit.

En la Fig. 32 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de mano para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 32.

Movimiento de mano para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.12. Dedos de la mano.

Las variables que produjeron efectos en el movimiento de dedos de la mano con una probabilidad >80% se resumen en la tabla 15 y Fig. 33:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de dedos en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de dedos disminuyó con un OR = 0.55 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de dedos debido a velocidad lento es del 99.8%.
  - El movimiento de dedos disminuyó con un OR = 0.76 ante el estímulo velocidad rápido. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de dedos debido a velocidad rápido es del 93.6%.
  - El movimiento de dedos disminuyó con un OR = 0.70 ante el estímulo dinámica modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de dedos debido a la dinámica modificada es del 90.7%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de dedos en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia**:
  - El movimiento de dedos aumentó con un OR = 1.69 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de dedos debido al orden es del 99.6%.
  - El movimiento de dedos aumentó con un OR = 1.50 ante el estímulo timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de dedos debido al timbre modificado es del 94.5%.

El resto de variables: armonía modificada, melodía modificada, caos y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de los dedos.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 0.61 en la escala logit.

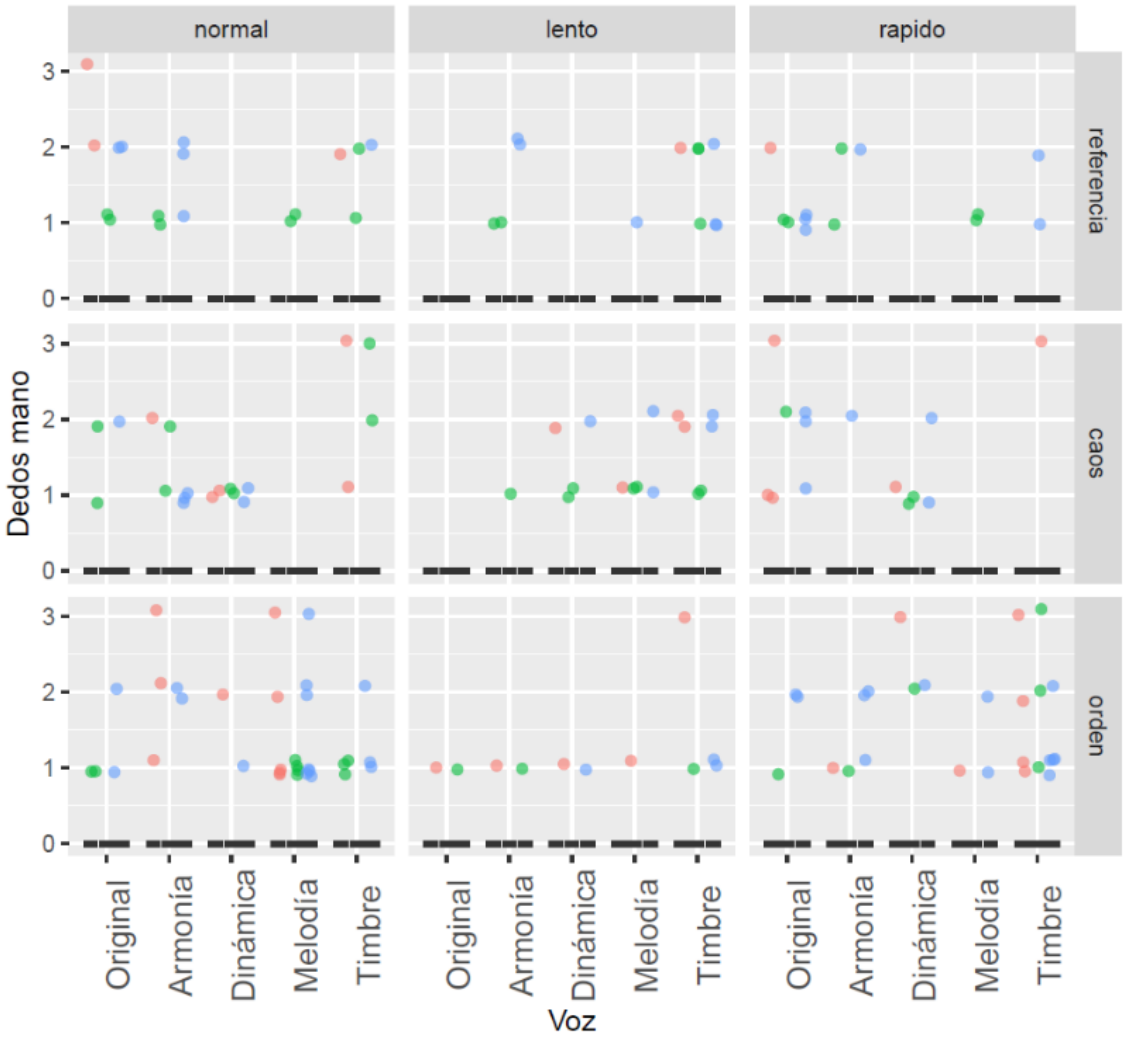
Tabla 15.
Movimiento dedos de la mano.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	3.232	0.487	25.333	9.59	83.039	1.000
Intercept[2]	4.167	0.512	64.542	24.02	249.18	1.000
Intercept[3]	5.916	0.571	370.996	125.093	1458.613	1.000
vozarmonia_modificada	0.03	0.253	1.03	0.628	1.711	0.543
vozdinámica_modificada	-0.358	0.281	0.699	0.395	1.198	0.907
vozmelodia_modificada	-0.053	0.264	0.948	0.565	1.59	0.576
voztimbre_modificado	0.405	0.248	1.5	0.917	2.432	0.945
organizacioncaos	0.156	0.214	1.169	0.779	1.798	0.769
organizacionorden	0.527	0.203	1.693	1.124	2.545	0.996
velocidadlento	-0.602	0.199	0.548	0.372	0.808	0.998
velocidadrapido	-0.272	0.181	0.762	0.527	1.089	0.936
silencio	-0.044	0.16	0.957	0.696	1.318	0.604
evaluadora	0.605	0.587	-	0.047	2.368	

En la Fig. 33 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de dedos para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 33.

Movimiento de dedos para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.13. Cabeza.

La información sobre el efecto de los estímulos musicales en la respuesta fetal para el movimiento de cabeza queda registrada en la Tabla 16 e ilustradas en la Fig. 34. De ella, extraemos que las variables que produjeron efectos en dicho movimiento con una probabilidad >80% fueron las siguientes:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de cabeza en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de cabeza disminuyó con un OR = 0.88 ante el estímulo caos. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de cabeza debido al caos es del 90.7%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de cabeza en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de cabeza aumentó con un OR = 1.42 ante el estímulo de armonía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de cabeza debido a la armonía modificada es del 99.8%.
  - El movimiento de cabeza aumentó con un OR = 1.20 ante el estímulo de timbre modificado. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de cabeza debido al timbre modificado es del 92.4%.
  - El movimiento de cabeza aumentó con un OR = 1.17 ante el estímulo de dinámica modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de cabeza debido a la dinámica modificada es del 89.0%.
  - El movimiento de cabeza aumentó con un OR = 1.11 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de cabeza debido a velocidad lento es del 85.3%.

Tabla 16.
Movimiento de cabeza.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	1.394	0.459	4.032	1.307	8.702	0.988
Intercept[2]	1.864	0.46	6.45	2.079	14.026	0.999
Intercept[3]	2.981	0.465	19.707	6.31	43.354	1.000
vozarmonia_modificada	0.353	0.125	1.423	1.114	1.825	0.998
vozdinámica_modificada	0.159	0.13	1.172	0.907	1.516	0.890
vozmelodia_modificada	0.051	0.131	1.052	0.817	1.355	0.655
voztimbre_modificado	0.182	0.128	1.2	0.933	1.54	0.924
organizacioncaos	-0.126	0.097	0.882	0.727	1.065	0.907
organizacionorden	-0.041	0.096	0.96	0.795	1.16	0.666
velocidadlento	0.101	0.097	1.106	0.909	1.337	0.853
velocidadrapido	-0.07	0.1	0.932	0.768	1.133	0.756
silencio	0.017	0.082	1.017	0.868	1.189	0.580
evaluadora	0.689	0.522	-	0.158	2.114	

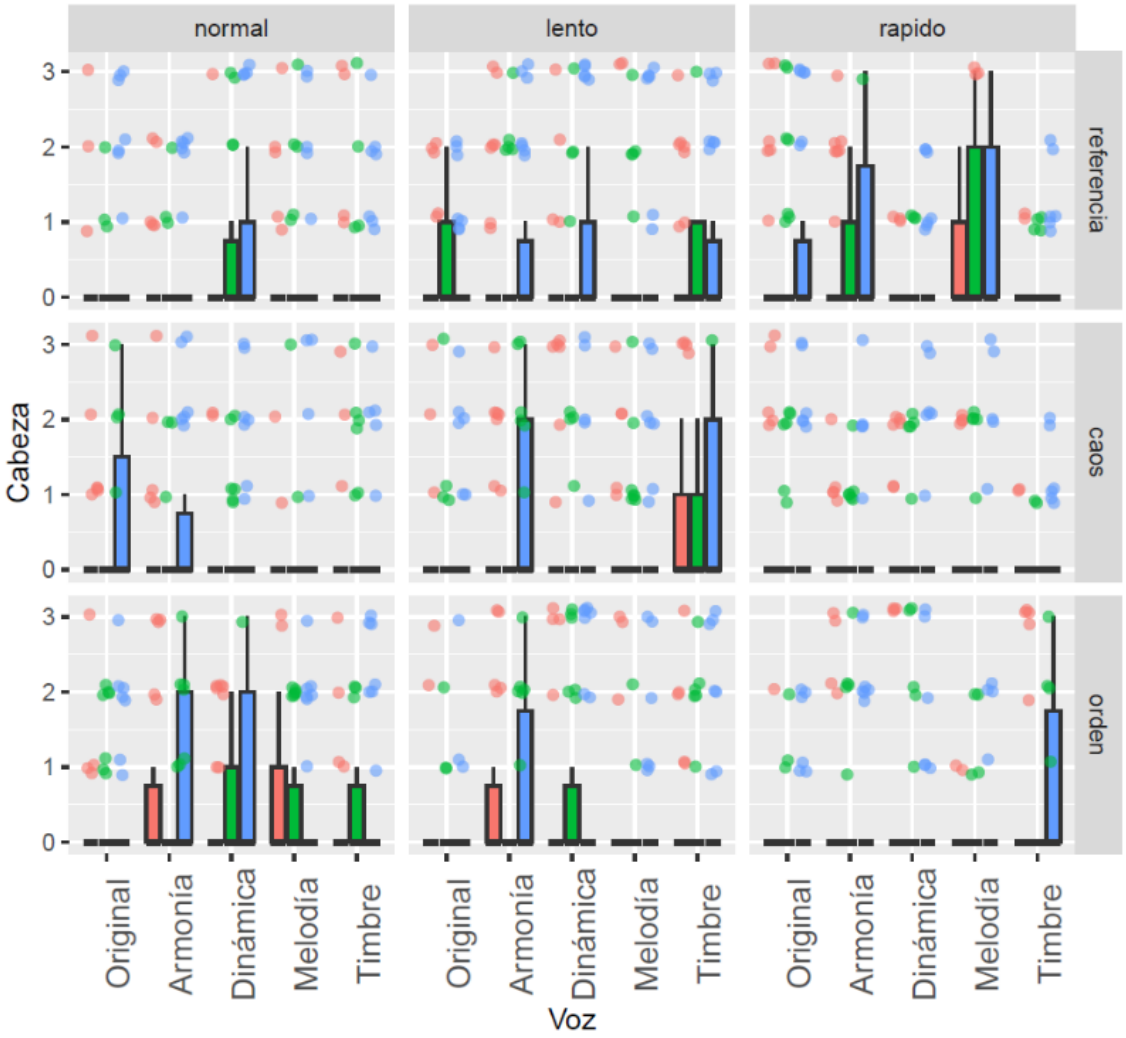
El resto de variables, melodía modificada, orden, velocidad rápido y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de cabeza.

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 0.69 en la escala logit.

En la Fig. 34 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de cabeza para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 34.

Movimiento de cabeza para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.14. Brazos.

Las siguientes variables produjeron efectos en el movimiento de brazos (Tabla 17) con una probabilidad >80%:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de brazos en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de brazos disminuyó con un OR = 0.83 ante el estímulo velocidad rápido. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de brazos debido a velocidad rápida es del 96.8%.
  - El movimiento de brazos disminuyó con un OR = 0.87 ante el estímulo caos. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de brazos debido al caos es del 91.2%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de brazos en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de brazos aumentó con un OR = 1.58 ante el estímulo armonía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de brazos debido a la armonía modificada es superior al 99.9%.
  - El movimiento de brazos aumentó con un OR = 1.32 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de brazos debido a velocidad lento es del 99.7%.
  - El movimiento de brazos aumentó con un OR = 1.13 ante el estímulo de dinámica modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de brazos debido a la dinámica modificada es del 82.1%.

El resto de variables: melodía modificada, timbre modificado, orden y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de brazos.

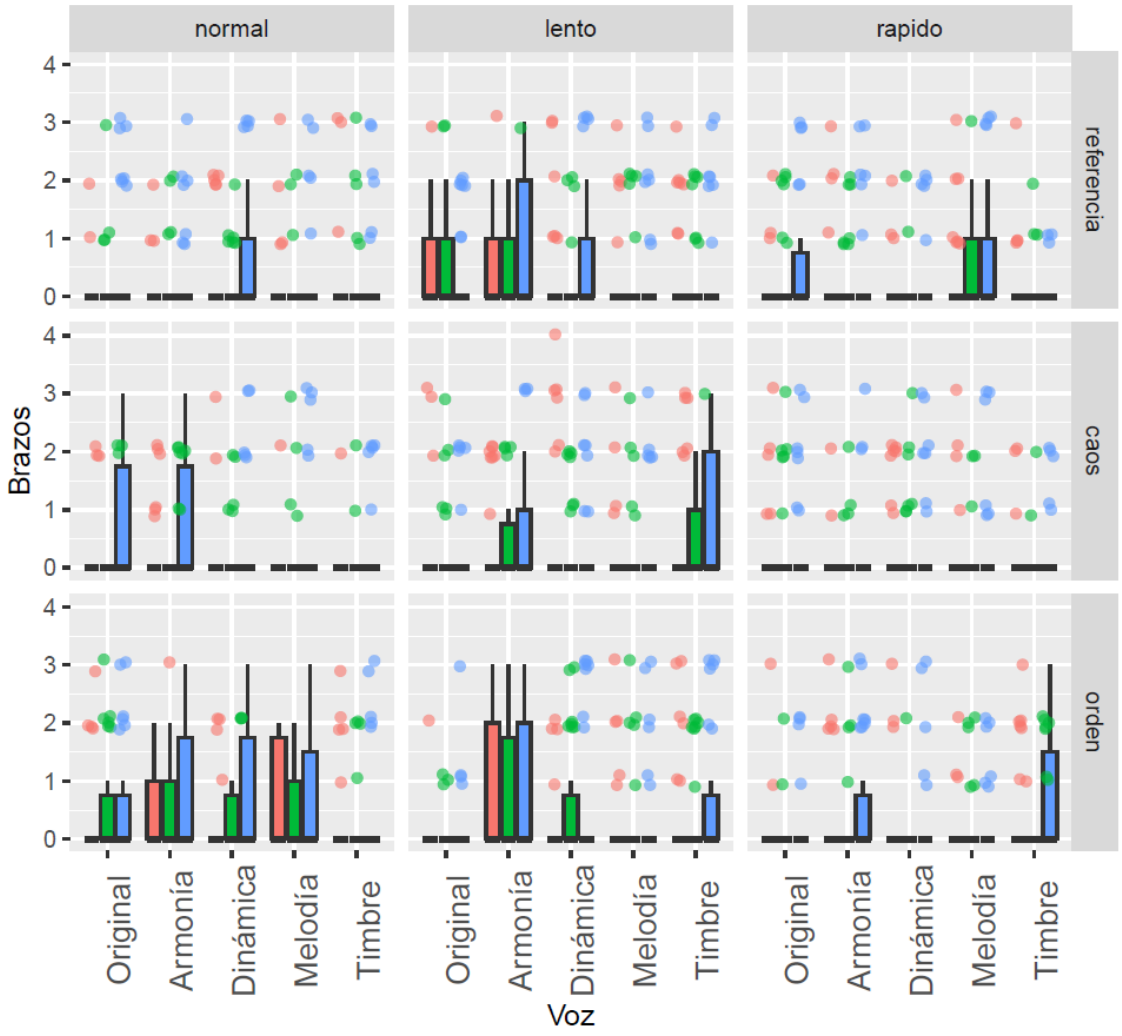
Tabla 17.
Movimiento de brazos.

Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	1.419	0.474	4.131	1.384	9.627	0.998
Intercept[2]	1.867	0.477	6.469	2.161	15.711	1.000
Intercept[3]	3.253	0.478	25.881	8.602	59.614	1.000
Intercept[4]	8.506	1.259	4941.972	678.471	94504.036	1.000
vozarmonia_modificada	0.458	0.125	1.581	1.247	2.031	1.000
vozdinámica_modificada	0.119	0.128	1.126	0.88	1.443	0.821
vozmelodia_modificada	0.078	0.129	1.082	0.837	1.398	0.736
voztimbre_modificado	0.082	0.126	1.085	0.852	1.407	0.740
organizacioncaos	-0.134	0.1	0.874	0.721	1.062	0.912
organizacionorden	0.083	0.096	1.086	0.904	1.306	0.798
velocidadlento	0.276	0.093	1.317	1.097	1.589	0.997
velocidadrapido	-0.189	0.101	0.828	0.679	1.011	0.968
silencio	0.06	0.077	1.062	0.914	1.242	0.790
evaluadora	0.746	0.614	-	0.149	2.404	

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 0.75 en la escala logit.

En la Fig. 35 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de brazos para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 35.
Movimiento de brazos para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



4.3.15. Piernas.

La tabla 18 y la Fig. 36 recogen los datos de los movimientos de las piernas en función de las variables de estudio. Las siguientes variables produjeron efectos en el movimiento de piernas con una probabilidad >80%:

- **Variables que disminuyeron el movimiento de piernas en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de piernas disminuyó con un OR = 0.75 ante el estímulo orden. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de piernas debido al orden es del 99.6%.
  - El movimiento de piernas disminuyó con un OR = 0.74 ante el estímulo caos. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de piernas debido al caos es del 99.4%.
  - El movimiento de piernas disminuyó con un OR = 0.87 ante el estímulo velocidad rápido. La probabilidad de que realmente exista un efecto de disminución del movimiento de piernas debido a velocidad rápido es del 88.2%.

- **Variables que aumentaron el movimiento de piernas en comparación con la voz materna original a velocidad normal y organización de referencia:**
  - El movimiento de piernas aumentó con un OR = 1.57 ante el estímulo armonía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de piernas debido a la armonía modificada es del 99.9%.
  - El movimiento de piernas aumentó con un OR = 1.25 ante el estímulo velocidad lento. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de piernas debido a velocidad lento es del 97.6%.
  - El movimiento de piernas aumentó con un OR = 1.21 ante el estímulo melodía modificada. La probabilidad de que realmente exista un efecto de aumento del movimiento de piernas debido a la melodía modificada es del 89.5%.

El resto de variables: dinámica modificada, timbre modificado y silencio, presentaron <80% de probabilidad de efecto, por lo que se concluye que no se encontraron evidencias suficientes como para considerar la existencia de un efecto claro de estos estímulos en el movimiento de piernas.

Tabla 18.
Movimiento de piernas.

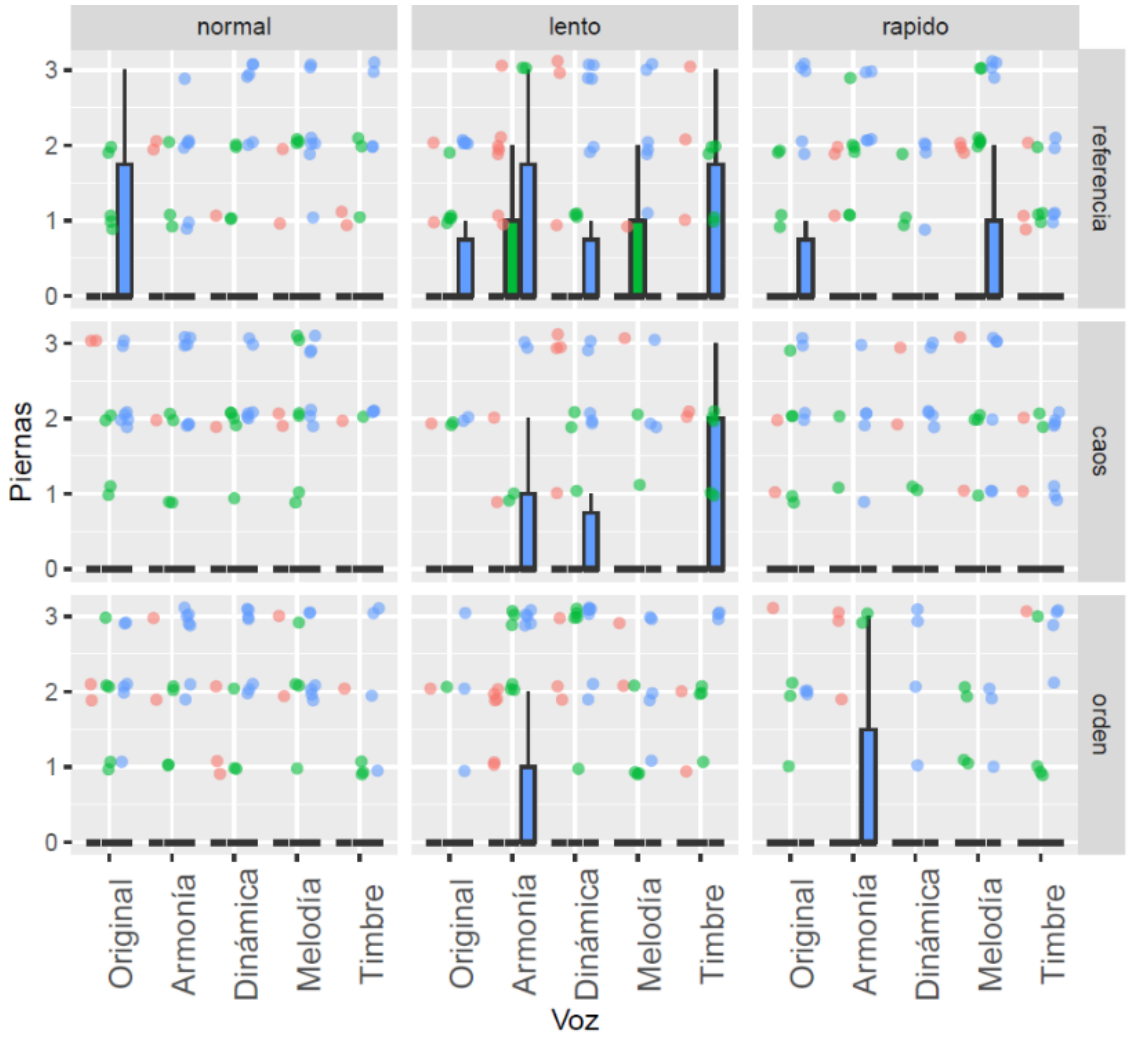
Variables	Estimate	Std..Error	OR	Lower.95.	Upper.95.	Prob.Ef
Intercept[1]	1.47	0.802	4.347	0.654	16.143	0.944
Intercept[2]	1.831	0.801	6.243	0.946	23.018	0.972
Intercept[3]	2.959	0.803	19.278	2.928	71.96	1.000
vozarmonia_modificada	0.45	0.146	1.568	1.183	2.094	0.999
vozdinámica_modificada	0.101	0.156	1.107	0.811	1.493	0.741
vozmelodia_modificada	0.189	0.152	1.209	0.901	1.64	0.895
voztimbre_modificado	0.03	0.157	1.031	0.761	1.394	0.578
organizacioncaos	-0.299	0.114	0.741	0.591	0.926	0.994
organizacionorden	-0.291	0.114	0.748	0.596	0.933	0.996
velocidadlento	0.222	0.113	1.248	1.002	1.553	0.976
velocidadrapido	-0.144	0.12	0.866	0.686	1.101	0.882
silencio	0.046	0.094	1.047	0.873	1.253	0.683
evaluadora	1.347	0.769	-	0.418	3.311	

En cuanto a la estimación de la variabilidad debida a la observadora, su valor es de 1.35 en la escala logit.

En la Fig. 36 se ha realizado una representación de los resultados obtenidos de movimiento de piernas para las distintas variables de interés en cuanto a modificaciones de voz, de velocidad y de estructura para cada una de las evaluadoras.

Figura 36.

Movimiento de piernas para las distintas combinaciones de las variables explicativas. En rojo Obs1, en verde Obs 2 y en azul Obs 3.



5. Discusión

La respuesta fetal a estímulos musicales basados en la voz materna es un área de estudio fascinante que investiga cómo los fetos reaccionan a música y sonidos específicos emitidos por la madre durante el embarazo. Nuestra hipótesis sugiere que la respuesta motora fetal está influida significativamente por este vínculo único entre la madre y el feto. Aunque la investigación en este campo es limitada, la literatura científica ya ha documentado, como se expondrá más adelante, que los fetos son capaces de responder de manera individual a estímulos musicales y vocales maternos. Estas respuestas fetales pueden variar objetivamente según la edad gestacional y la posición del feto en el útero. Sin embargo, también existen factores como el acento de la madre y su sensibilidad personal hacia el feto, que son más difíciles de medir y estandarizar científicamente. Estos elementos subjetivos presentan un desafío para la investigación científica clásica, que busca establecer vínculos claros y reproducibles entre un estímulo propuesto y una respuesta perceptual del feto.

La complejidad procedimental radica en estandarizar de manera inequívoca esta relación entre la estimulación mediante la voz materna y la respuesta fetal, debido a la naturaleza predominantemente perceptiva de la respuesta del feto. Este hecho es intrínsecamente variable y difícil de cuantificar con precisión mediante los métodos de investigación convencionales. A medida que avanza la investigación, se espera que nuevas metodologías permitan una mejor comprensión y sistematización de estos aspectos, lo que contribuirá a profundizar en nuestro conocimiento sobre la interacción entre la voz materna y la respuesta fetal.

Como se ha explicado en el apartado de metodología, desde el punto de vista descriptivo del número de participantes, nuestro número de casos era de 15 gestantes, pero, en realidad, se disponía de 60.750 variables a analizar. Aun así, nuestros resultados no se limitan solo al contraste de la hipótesis que concluya si los diversos estímulos musicales han producido o no efectos en el feto, sino que se ha decidido ir más allá sirviéndonos de la estadística bayesiana para determinar cuánto ha influido cada estímulo en la respuesta fetal.

De este modo, la estadística bayesiana es una rama de la estadística que se basa en el teorema de Bayes (Bayes, 1764) para realizar inferencias probabilísticas sobre parámetros desconocidos en un modelo estadístico. A diferencia de la estadística clásica o frecuentista, que se centra en la probabilidad condicional de los datos dados los parámetros, la estadística bayesiana se enfoca en la probabilidad de los parámetros dados los datos observados.

La estadística bayesiana proporciona una forma sencilla y natural de expresar y cuantificar la incertidumbre en los resultados (Williamson, 2000). De este modo, para la interpretación de nuestros resultados, se ha decidido que un resultado con probabilidad de efecto > 80% supone una probabilidad moderada de que realmente exista ese efecto, que una probabilidad de efecto > 90% implica una probabilidad elevada de que exista ese efecto y que una probabilidad de efecto > 95% implica una casi certeza de que exista dicho efecto. La distribución posterior refleja la distribución completa de probabilidad sobre los parámetros, lo que permite evaluar la variabilidad y tomar decisiones informadas.

Vamos a interpretar y relacionar con la literatura científica, en primer lugar, por movimientos analizados, y posteriormente de manera global en la respuesta motora fetal a la estimulación musical.

5.1. DISCUSIÓN ACERCA DE LA CONCORDANCIA INTEROBSERVADORAS.

La concordancia interobservador es un aspecto crítico en cualquier estudio que involucre la observación y el juicio humano para la recolección de datos. Se refiere al grado en que diferentes observadores o evaluadores coinciden en sus mediciones o evaluaciones de un mismo fenómeno (Brennan et al., 1992; Viera et al., 2005). La importancia de la concordancia interobservador radica en su impacto directo en varios aspectos de crucial importancia para que el estudio de investigación realizado sea confiable. Estos aspectos metodológicos son cruciales en el campo de la Medicina en general, y en este sentido, en el de la ecografía obstétrica en particular, debido al componente de subjetividad inherente a esta técnica diagnóstica.

El primer aspecto es la fiabilidad del trabajo realizado, que se refiere a la consistencia de los resultados obtenidos. Una alta concordancia interobservador significa que diferentes observadores están proporcionando evaluaciones similares cuando miden el mismo evento o característica, lo cual sugiere que las mediciones son consistentes y replicables (Brennan et al., 1992).

Un segundo aspecto importante es la validez o precisión con la que se mide lo que se pretende. Una alta concordancia interobservador ayuda a asegurar que las mediciones reflejen con precisión el fenómeno en estudio (Brennan et al., 1992). En cambio, si la concordancia interobservador es baja, esto puede indicar problemas con la definición de las variables, los criterios de evaluación o la capacitación de los observadores. Una baja concordancia puede significar que los observadores están interpretando las variables de manera diferente, lo cual compromete la validez de las conclusiones del estudio.

Otro aspecto metodológico que destacar es el sesgo en la recolección de datos que puede surgir de las diferencias individuales en la interpretación y juicio de los observadores. Estas diferencias pueden deberse a factores como la experiencia previa, las expectativas personales y los prejuicios inconscientes (Brennan et al., 1992; Viera et al., 2005). Una alta concordancia interobservador ayuda a minimizar estos sesgos, asegurando que las observaciones y evaluaciones sean más objetivas y uniformes.

En nuestro estudio, la observadora 1, autora del presente trabajo de Tesis Doctoral tenía mayor experiencia ecográfica que las otras dos observadoras. La concordancia

interobservador también destaca la importancia del entrenamiento y la capacitación de los observadores. Para alcanzar una alta concordancia, los observadores deben recibir una formación adecuada en los criterios de evaluación y los procedimientos de medición. Este entrenamiento no solo mejora la precisión y consistencia de las observaciones, sino que también aumenta la confianza de los observadores en su capacidad para realizar evaluaciones precisas.

Consideramos que hemos obtenido una buena concordancia entre las tres observadoras, salvo para los movimientos de las extremidades. Esto es debido a que generalmente están fuera del campo visual del ecógrafo, lo que se presta a mayor confusión. De manera general, por tanto, podemos decir que metodológicamente para la detección de la respuesta fetal, nuestro estudio es fiable y válido. Esto hace que el estudio sea verosímil para el análisis de la respuesta motora fetal, pudiendo ser considerado para potenciales aplicaciones clínicas.

La alta concordancia entre las tres observadoras nos ha permitido revelar la necesidad de optimizar el diseño de los estímulos musicales, en los que se ha pretendido llegar a un nivel de precisión que probablemente se escapa a la capacidad discriminatoria propia de las técnicas metodológicas. Identificar y abordar estas circunstancias es crucial para mejorar la calidad del estudio de cara al futuro (Brennan et al., 1992). A través de la retroalimentación y el análisis de la concordancia, hemos podido identificar la parte de nuestra metodología que nos asegure una capacidad de evaluación idónea.

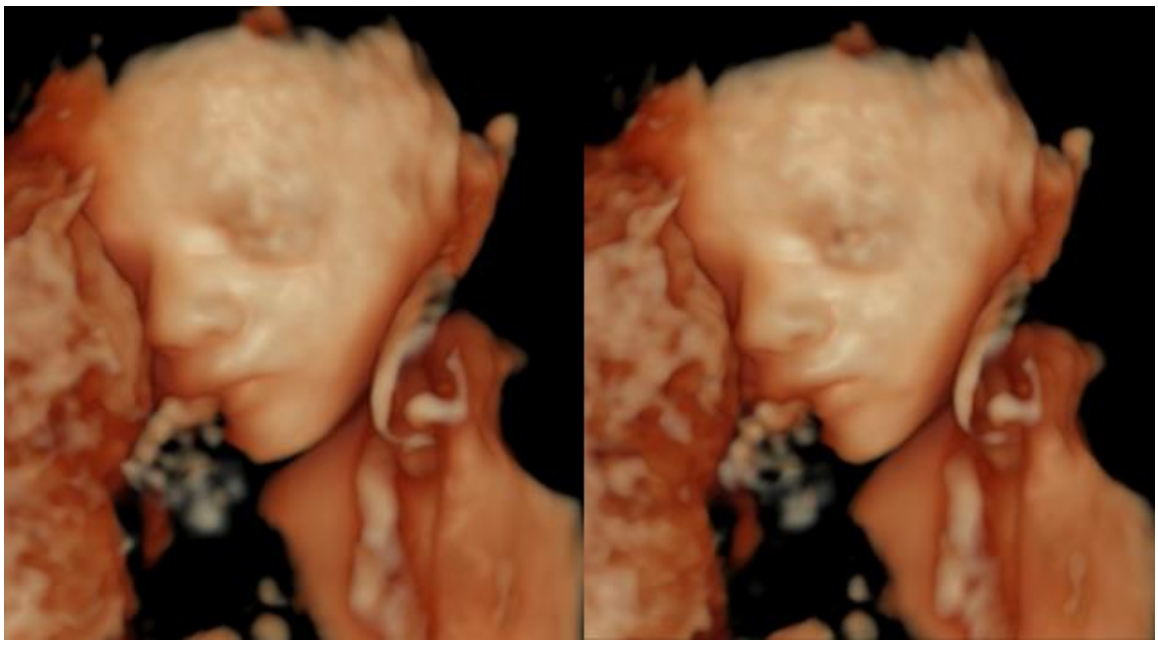
5.2. DISCUSIÓN POR MOVIMIENTOS.

5.2.1. Parpadeo.

El movimiento de parpadeo representa una respuesta refleja regulada por el sistema dopaminérgico, y es un importante parámetro que manifiesta el desarrollo del cerebro fetal, concomitante al sistema neuroendocrino (Aboellail et al., 2017; Grigore et al., 2018). Se ha descrito un aumento en la frecuencia de parpadeo a lo largo del embarazo hasta el término, donde se produce una ligera disminución (Grigore et al., 2018). Algunas publicaciones han considerado el parpadeo como el movimiento facial más frecuente tras la apertura de boca (Aboellail et al., 2017; Kanenishi et al., 2013).

En nuestro caso, se ha producido una disminución del movimiento de parpadeo en las variables **caos, orden** y **silencio** en comparación con la voz materna; y un aumento del parpadeo ante **melodía, timbre y armonía modificadas**, así como en **velocidad lento**. Pensamos que el hecho de que los fetos disminuyan el movimiento estudiado en respuesta a la variable **caos** podría ser considerado como una muestra de atención ante un estímulo novedoso y tan contrapuesto al de la referencia de la voz materna original. En la Fig. 37 podemos apreciar el movimiento de parpadeo.

Figura 37.
Sucesión de imágenes de movimiento de parpadeo en el feto de la gestante G13 de nuestro estudio.



Estos resultados son equiparables a los de Kisilevsky y cols, quienes encontraron una disminución de la FCF en respuesta ante una voz desconocida en comparación a la voz materna, planteando así la hipótesis de que el feto sería capaz de mantener atención ante un estímulo externo (Kisilevsky et al., 2003, 2004).

No hemos encontrado publicaciones en la literatura que analicen el movimiento de parpadeo en respuesta a la voz materna. Sin embargo, sí que se ha estudiado su relación con la estimulación vibroacústica. Ogo y cols. estudiaron a 68 gestantes entre las semanas 24 y 40 de gestación y concluyeron un aumento de parpadeo tras la estimulación VAS en el grupo de gestantes entre las semanas 36-40, no produciéndose esta respuesta en gestantes <36 semanas (Ogo et al., 2019). Los autores justifican su resultado tanto por una posible inmadurez del sistema auditivo en fetos menores de 37 semanas, como por la intensidad del estímulo presentado, ya que, aunque en estudios previos sí se produjo respuesta desde la semana 28, la intensidad del estímulo vibroacústico fue mayor. También se produjo un aumento de parpadeo en fetos de entre 33-42 semanas expuestos a VAS en un estudio realizado por Petrikovsky (Petrikovsky et al., 2003).

Es importante conocer que el reflejo de parpadeo y sobresalto (blink-startle reflex) es un reflejo del tronco encefálico caracterizado por una contracción de la musculatura orbicular y esquelética, en respuesta a una estimulación acústica (Bellieni et al., 2005). Este reflejo ha sido descrito como un signo fiable de respuesta de habituación en recién nacidos y también se ha demostrado en fetos desde la semana 24. De hecho, en un estudio realizado por Bellieni en 22 fetos entre las 30-34 semanas se demostró la presencia de habituación en el reflejo de parpadeo en respuesta a un estímulo vibroacústico (VAS). Horimoto y cols. (Aboellail et al., 2017) describieron una simultaneidad en movimientos regulares de boca con períodos de movimientos oculares no rápidos después de las 35 a 36 semanas de gestación, que también se observan en el recién nacido, lo cual nos habla del grado de madurez cerebral fetal.

También se ha estudiado la relación del parpadeo con el grado de ansiedad o depresión materna. Reissland y cols. (Reissland et al., 2018) describieron un aumento de parpadeo en fetos expuestos a estimulación auditiva, en comparación a los que no la recibieron. Así mismo, hubo un aumento de parpadeo en madres con elevado nivel de ansiedad, y una disminución del mismo en aquellas madres con elevado nivel de depresión. Estas diferencias en la frecuencia de parpadeo en función del grado de estrés materno se explicarían por la variación hormonal materna y los niveles de dopamina. Por su parte, Nakamura y cols. observaron un aumento en la tasa de parpadeo en

primíparas respecto a las multíparas, debido a que, según estos autores, las primíparas tenían un mayor estado de relajación que las multíparas (Grigore et al., 2018).

Podemos observar, por tanto, que la mayoría de publicaciones existentes han relacionado el aumento de parpadeo con una estimulación externa (estimulación auditiva o vibroacústica), aunque no ha sido estudiado directamente el papel de la voz materna. En nuestro caso, el parpadeo sí que ha aumentado con modificaciones prosódicas de la voz materna (**melodía, timbre y armonía modificadas**) y ha disminuido con la variable **silencio,** lo que iría en consonancia con la literatura, aunque también lo ha hecho con las variables **orden y caos.**

5.2.2. Apertura de boca.

En nuestras observaciones el movimiento de apertura de boca ha disminuido con una probabilidad >80% ante estímulos distintos a la voz materna (**armonía modificada, melodía modificada, orden y caos**), en comparación al estímulo voz materna original. En cambio, no ha habido ningún estímulo sonoro que haya aumentado el movimiento de boca respecto a la voz materna. Podríamos interpretar este hecho como un "diálogo" que se establecería ante la voz materna en su estado original. En cambio, estímulos alejados de esta referencia disminuirían su frecuencia al resultar desconocidos para el feto, al igual que se ha producido en el movimiento de parpadeo.

De este modo, con respecto al sustrato neural de la fonación, distintos autores han descrito que los movimientos de apertura bucal y protrusión de la lengua que se producen en el feto en respuesta a estímulos musicales (López-Teijón et al., 2015; Reissland et al., 2003, 2016a, 2016b), podrían representar un inicio de vocalización. Metodológicamente, el trabajo más similar al nuestro es el de López-Teijón y cols (López-Teijón et al., 2015), en el que se describe la comparación entre el efecto de la música vía abdominal con música intravaginal y con vibración intravaginal en fetos desde la semana 14 a 40 de gestación, mediante ecografía 3D/4D. En este estudio encontraron que los fetos de más de 16 SG producían un aumento, no sólo de los movimientos de apertura de boca, sino también de protrusión de la lengua y del tronco en respuesta a la estimulación musical intravaginal como la nuestra, sin embargo, no originando la misma respuesta los grupos expuestos a música abdominal o vibración. La pretensión de nuestro estudio es mayor al utilizar estímulos más precisos, puesto que el elemento sonoro elegido en ese estudio fue una pieza de Mozart, muy alejada de los sonidos a los que el feto está acostumbrado de manera fisiológica. En la figura 38

podemos observar un ejemplo de apertura de boca en una de las pacientes de nuestro estudio.

Figura 38.
Captura de imagen 4D de movimiento de apertura de boca del feto de la gestante G18 de nuestro estudio

Además del estudio de López-Teijón, distintas publicaciones han reportado un aumento de apertura de boca en fetos expuestos a la estimulación auditiva, tanto en respuesta a una voz femenina distinta a la materna (Reissland et al., 2016b) como a una conversación interactiva materna (Nagy et al., 2021). En cambio, otro autores, no encontraron diferencias significativas en dicho movimiento en respuesta a la voz materna (Marx et al., 2015) o a la estimulación vibroacústica (Ogo et al., 2019).

Nagy y cols. (Nagy et al., 2021) encontraron una tendencia (p 0.075) en el aumento de duración de movimientos de apertura bucal en respuesta a la voz materna, cuando ésta emulaba una conversación con su bebé. Sin embargo, este hecho no se produjo cuando la madre realizaba una lectura aséptica. Según los autores, estos hechos nos hacen pensar que los fetos son capaces no solo de reaccionar ante estímulos externos,

sino de discriminar si estos estímulos tienen un objetivo comunicativo o interactivo con él. Por lo que podemos ver que estos resultados irían en consonancia con los de nuestro trabajo.

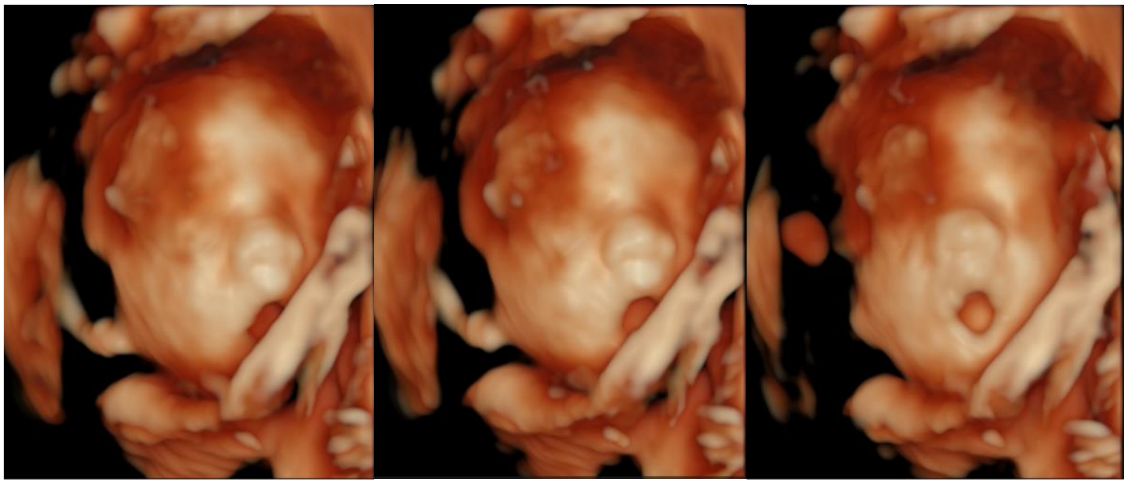
Además, la edad gestacional ha sido considerada habitualmente como un factor determinante en el movimiento de apertura de boca. De hecho, es el movimiento fetal más frecuente en el tercer trimestre y también el más estudiando (Aboellail et al., 2017; Ferrari et al., 2016; Grant-Beuttler et al., 2011; Hata, 2016; Kanenishi et al., 2013; López-Teijón et al., 2015; Nagy et al., 2021; Ogo et al., 2019; Reissland et al., 2016). Paradójicamente, hay autores que han descrito que los movimientos frontales de apertura de boca van disminuyendo en frecuencia conforme avanza la gestación, incrementándose en cambio los movimientos lateralizados, más complejos, de apertura de boca (Grigore et al., 2018). Estos últimos estudios, por tanto, apoyan adelantar el estudio de este movimiento a la edad gestacional que nosotros proponemos.

5.2.3. Bostezo.

El bostezo es un movimiento que comienza a producirse al final del primer trimestre de gestación y persiste hasta el final del embarazo (Walusinski, 2010). A partir de la semana 20 los movimientos bucales aumentan de frecuencia, sobre todo la apertura de boca y el bostezo (Hata, 2016). De hecho, según varios autores, a partir de la semana 25 la expresión facial más frecuente es la apertura de boca, seguida del bostezo (Hata, 2016; Kanenishi et al., 2013). A partir de aquí, la mayoría de los investigadores afirman que la incidencia del bostezo disminuye en el tercer trimestre, mediante estudios realizados con ecografía 4D (Aboellail et al., 2017; Kanenishi et al., 2013; Lebit et al., 2011). Se hipotetiza que la disminución de la incidencia del bostezo fetal en el tercer trimestre es debida a que a medida que avanza la gestación, los períodos de sueño y vigilia se vuelven más sólidos, lo que daría lugar a episodios de vigilia frecuentes y, por tanto, una menor necesidad de bostezar como estímulo para la excitación cerebral (Aboellail et al., 2017).

En nuestro caso, los resultados han sido un tanto contradictorios, ya que se ha producido una disminución del bostezo con una probabilidad >80% en respuesta al **timbre materno modificado**, y un aumento ante la variable **caos** y **dinámica modificada**. A continuación, en la Fig. 39 podemos apreciar un movimiento de bostezo.

Figura 39.
Imágenes correspondientes al movimiento de bostezo del feto de la gestante G12 de nuestro estudio.



Por su parte, Marx y Nagy (Marx et al., 2015) encontraron un aumento del bostezo en respuesta a la voz materna en fetos que se encontraban en el tercer trimestre de gestación, no evidenciándose esta respuesta en gestantes que se encontraban en el segundo trimestre. Pensamos que este hecho puede justificar nuestros resultados, al haberse realizado con fetos en el segundo trimestre de gestación.

Así mismo, un estudio con metodología 2D en el año 1991 no reportó cambios en la incidencia de bostezo entre las semanas 20-36 de gestación, pudiéndose deber a una dificultad técnica en el reconocimiento del movimiento (Walusinski, 2010). Contrariamente, Petrikovsky y cols. en el año 1999 (Petrikovsky et al., 1999) mediante la misma técnica de ecografía 2D, evidenció grupos de 3 o más bostezos (clusters) en fetos con isoinmunización Rh y anemia, en comparación con el grupo de fetos normales o con restricción de crecimiento. Los autores explican este efecto como un mecanismo compensatorio a la situación de hipoxia derivada de la anemia fetal, ya que el bostezo es un reflejo mediado por el tronco del encéfalo que también sirve para revertir un estado de hipoxia relativa, así como la somnolencia y disminución de la actividad mental que esta conlleva.

Ferrari y cols. (Ferrari et al., 2016) realizaron un estudio en 29 fetos entre las 19 y 27 SG, en el que no encontraron correlación entre el bostezo fetal y estímulos vocales o el bostezo materno. Sin embargo, sí que encontraron un aumento del movimiento de apertura bucal ante la emisión de la sílaba “LA” materna. Los autores justifican esta respuesta como un posible “efecto espejo”, que implicaría estructuras corticales y parietales fetales, y que posibilitaría en el recién nacido la respuesta selectiva a la voz de su madre y potenciaría el vínculo madre-hijo, tan importante en la supervivencia. Los

autores hipotetizan que el aumento de apertura bucal ante la sílaba “LA”, y no ante la sílaba “LU” (otra de las variables analizadas en este estudio), puede ser debido a que las canciones de cuna presentan con más frecuencia la sílaba LA a la sílaba LU, y por eso sería más fácilmente reconocibles por el feto. La otra posible explicación que proporcionan que, bajo nuestro punto de vista sería más consistente, es que la sílaba LA sería mejor transmitida acústicamente y por eso mejor reconocida por el feto.

Podemos observar, por tanto, como la mayoría de estudios que han encontrado cambios en la incidencia de bostezo ante estímulos acústicos han sido en fetos que se encontraban en el tercer trimestre de gestación. En nuestro caso, aunque hemos encontrado cambios en la frecuencia de bostezo con una probabilidad >80% en respuesta a distintos estímulos, el comportamiento ante los mismos ha sido un tanto discordante, hecho que pensamos que pueda estar justificado al haber realizado el estudio en el segundo trimestre de gestación.

5.2.4. Sonrisa.

La sonrisa en el feto está considerada como una expresión facial espontánea, sin intención social ni comunicativa, que indica un correcto desarrollo neurológico, al implicar movimientos de varios músculos faciales de forma simultánea y simétrica (Aboellail et al., 2017; Grigore et al., 2018). La mayoría de publicaciones coinciden en una mayor frecuencia de sonrisa fetal en el tercer trimestre respecto al segundo trimestre de gestación (Aboellail et al., 2017; Kanenishi et al., 2013).

No hemos encontrado estudios que analicen de forma directa la sonrisa fetal en respuesta a la voz materna, aunque sí existen algunas publicaciones que han analizado su frecuencia ante estimulación vibroacústica, sin producirse respuesta significativa ante la misma (Grant-Beuttler et al., 2011; Ogo et al., 2019).

En nuestro caso, se ha producido una disminución de la sonrisa, ante los estímulos **caos** y **velocidad rápido**, comparado con la voz materna original; y un aumento de la misma ante las variables **silencio, melodía modificada** y **orden**. Seguimos observando que ante la expresión facial sonrisa, los fetos disminuyen el movimiento estudiado en respuesta a la variable **caos**, al igual que la **velocidad rápida**. En cambio, se ha producido un aumento de la sonrisa con un 89,8% de probabilidad ante el estímulo silencio. Véase en la Fig. 40 una muestra de sonrisa fetal.

Figura 40.
Ejemplo de sonrisa fetal mediante ecografía 4D en la gestante G18 de nuestro estudio.

5.2.5. Mueca.

La mueca está considerada como una expresión facial compleja, que implica varios músculos faciales y cuya frecuencia aumenta en el segundo trimestre de gestación, para permanecer estable durante el tercer trimestre (Hata, 2016).

Hay autores que han sugerido que esta expresión podría ser un signo de dolor o estrés intraútero, ya que se ha objetivado la presencia de muecas durante el pico de contracción uterina en gestantes a término (Hata et al., 2023), por lo que el estudio de la expresión facial fetal durante el período de parto podría ser una forma de monitorizar su bienestar. En la Fig. 41 observamos una mueca mediante ecografía 4D.

Figura 41.
Captura de 3 imágenes sucesivas mediante ecografía 4D de una mueca correspondiente al feto de la gestante G1 de nuestro estudio.

En nuestro estudio se ha producido con más de un 80% de probabilidad de efecto una disminución de mueca fetal ante la variable **silencio** (un 96.9% menos) en comparación a la voz materna original; así como un aumento de mueca ante la variable **timbre modificado** (un 89.9% más), si lo comparamos con la voz materna original.

Aunque no existen estudios previos con los que poder discutir estos resultados, podríamos interpretar que conforme el estímulo sonoro es más alejado de la voz materna original aumenta el número de muecas, ya que disminuyen con el silencio y aumentan con la modificación del timbre materno. El resto de las variables no han producido resultados con más de un 80% de probabilidad de efecto.

5.2.6. Protrusión de lengua.

Este movimiento consiste en la expulsión de la lengua fuera de la boca, para lo cual es necesario la indemnidad de la musculatura bucal, su inervación y el control voluntario de la boca y lengua a nivel cerebral. La protrusión de lengua (Fig. 42) se ha descrito desde la semana 18, aunque es un movimiento raro por debajo de la semana 25 (López-Teijón et al., 2015). Posteriormente, se ha descrito que es un movimiento constante a partir de la semana 28-30 de gestación hasta el final de la misma (Aboellail et al., 2017; López-Teijón et al., 2015).

Hay autores que interpretan este movimiento como una respuesta precursora a la vocalización (López-Teijón et al., 2015), aunque otros la justifican como una preparación para el período de lactancia (Aboellail et al., 2017).

Figura 42.
Captura de imagen mediante ecografía 4D de protrusión de lengua del feto de la gestante G14 de nuestro estudio.

En nuestro caso, se ha producido una disminución de la protrusión de lengua en respuesta a la variable **melodía modificada** en comparación a la voz materna original, y un aumento de dicho movimiento ante las variables **velocidad lento, timbre modificado, caos y orden**. Desconocemos el motivo por el que los fetos han disminuido el movimiento ante variaciones de melodía y lo han aumentado ante variaciones de timbre.

Como ya se ha detallado previamente, López-Teijón y cols. describieron una frecuencia mayor de protrusión de lengua en un grupo de fetos desde la semana 16 estimulados con música intravaginal. Además, este movimiento fue mayor entre las semanas 32-39, respecto a los fetos de menor edad (López-Teijón et al., 2015), hecho que podría justificar nuestros resultados, con fetos en el segundo trimestre. Así mismo, Ogo y cols. no encontraron cambios en la frecuencia de protrusión de lengua en respuesta a estimulación vibroacústica (Ogo et al., 2019) en ningún grupo de fetos desde la semana 24 a la 40, observación equivalente a la nuestra.

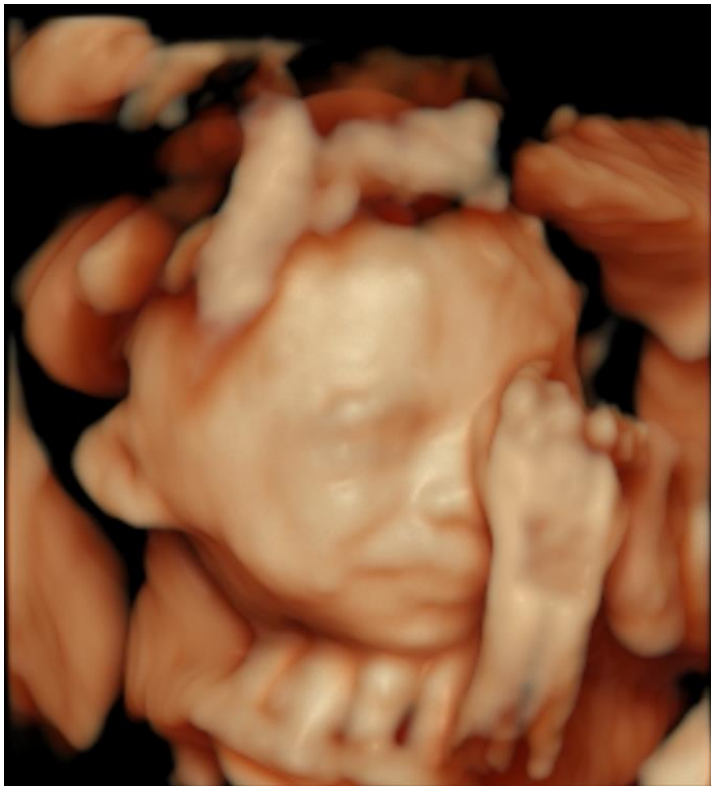
5.2.7. Fruncimiento de ceño.

Durante la gestación podemos observar mediante ecografía 4D cómo los fetos fruncen el ceño (véase Fig.43). Esta expresión facial se produce en el período post natal en respuesta al dolor o situaciones de estrés, por lo que, al igual que la mueca, se ha descrito que podría tener el mismo significado en el período intrauterino (Aboellail et al., 2017; Grigore et al., 2018). La frecuencia de fruncimiento de ceño aumenta conforme avanza la gestación, indicando un correcto desarrollo neurológico y sugiriéndose que podría ser un proceso adaptativo beneficioso en el período postnatal (Aboellail et al., 2017).

En nuestro caso, se ha producido una disminución de fruncimiento de ceño ante los estímulos **melodía modificada, timbre modificado y velocidad lento**, en comparación con la voz materna original.

No existen estudios en la literatura que analicen el fruncimiento de ceño en respuesta a la voz materna, sino únicamente ante estimulación vibroacústica. En el estudio de Ogo, ya comentado con anterioridad (Ogo et al., 2019), no se produjo respuesta significativa en la frecuencia del fruncimiento de ceño ante la estimulación vibroacústica en ninguna edad gestacional estudiada.

Figura 43.
Fruncimiento de ceño mediante ecografía 4D en el feto de la gestante G1 de nuestro estudio.



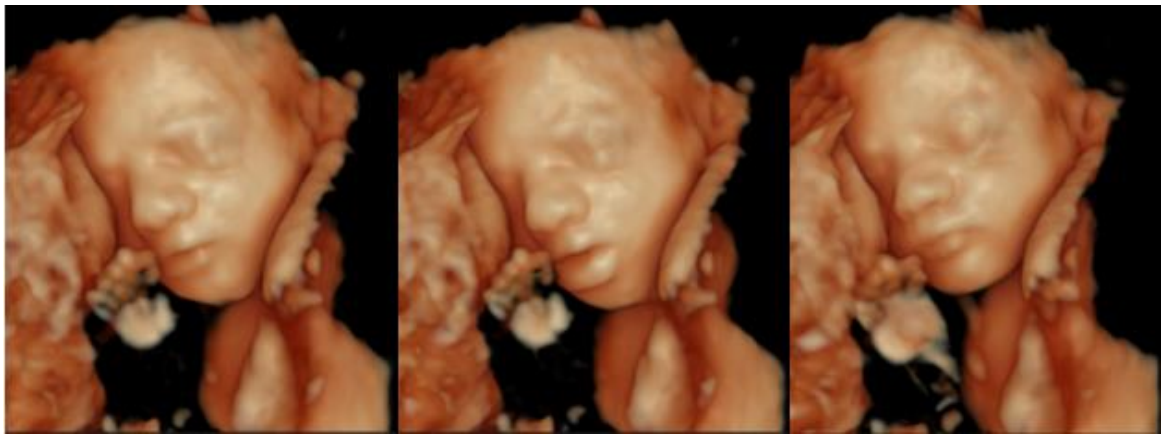
5.2.8. Chupeteo.

El chupeteo o succión es un movimiento fetal que se inicia de forma muy temprana en el primer trimestre, y que va aumentando conforme avanza la edad gestacional, de modo que al final del embarazo este movimiento se produce de forma regular y espontánea, de forma muy similar a los recién nacidos (Provasi et al., 2014).

DeCasper (DeCasper et al., 1986) encontró un aumento del movimiento de succión neonatal entre grupos de recién nacidos que habían sido estimulados intraútero con la voz materna, cuando los comparaban con un grupo de controles. Del mismo modo, otro estudio demostró que las respuestas de succión neonatal variaban cuando los recién nacidos estaban expuestos a grabaciones de la voz materna u otras voces femeninas (Fifer et al., 1989). En cambio, contrasta con lo descrito por Nagy y cols, que no encontraron diferencias significativas en la realización de dicho movimiento en respuesta a la voz materna (Nagy et al., 2021).

Nuestros resultados muestran una disminución de este movimiento con una probabilidad >80% ante estímulos distintos a la voz materna (**dinámica modificada, timbre modificado, caos, orden, velocidad lento y velocidad rápido**) en comparación al estímulo voz materna original, lo que podemos interpretar que va en la misma línea de DeCasper y Fifer, y se podría considerar como fase previa prenatal de distinción entre estímulos. En la Fig. 44 podemos observar un ejemplo de movimiento de chupeteo.

Figura 44.
Sucesión de imágenes 4D que se corresponden al movimiento de chupeteo observado en la paciente G13 de nuestro estudio.



El aumento en el movimiento de chupeteo que hemos encontrado en respuesta a la voz materna podríamos interpretarlo como una interacción que el feto establece su

madre. De hecho, en los recién nacidos se ha descrito un movimiento conocido como "succión no nutritiva" con un fin probablemente comunicativo (Provasi et al., 2014). Cuando el recién nacido está siendo amamantado, realiza pausas en su succión, hasta que su madre lo estimula y éste vuelve a continuar succionando, por lo que podríamos pensar que el comportamiento que observamos intrauterino sería el inicio de este "diálogo materno". Diversas publicaciones no han encontrado cambios en la frecuencia del movimiento de succión entre las semanas 20-34 de gestación, argumentando que este hecho refleja la importancia que tiene la succión en la vida post natal, sirviendo la gestación de un entrenamiento para la misma (AboEllail et al., 2018; Gonzalez-Gonzalez et al., 2006; Provasi et al., 2014).

Además, al final de la gestación, los movimientos regulares y rítmicos de la boca, como la succión y deglución, se consideran equivalentes a los "movimientos de succión espontáneos" y "succión no nutritiva", términos usualmente utilizados para los recién nacidos (Provasi et al., 2014). Después del nacimiento, los recién nacidos continúan succionando, tanto como una actividad no nutritiva, como para alimentarse. Ambos movimientos son muy rítmicos y pueden modificarse en respuesta a factores externos, generalmente acelerándose, para mejorar el proceso de ingesta o en respuesta a otras estimulaciones rítmicas. Curiosamente, se ha descrito que el movimiento de succión y los patrones de frecuencia cardíaca fetal a partir de la semana 38 de gestación comparten las mismas características rítmicas (Provasi et al., 2014). De este modo, los movimientos de succión se acompañan de aumentos simultáneos y transitorios en la frecuencia cardíaca fetal, para volver ésta a la línea de base cuando se pausa el movimiento bucal. Este comportamiento hace pensar que tanto los movimientos rítmicos de boca como las respuestas de la frecuencia cardíaca fetal, estarían regidas por un centro común del sistema nervioso central (Provasi et al., 2014).

5.2.9. Deglución.

A diferencia de otros movimientos de apertura de boca o el bostezo, identificamos la deglución gracias a la evidencia del paso de líquido amniótico a través de la boca del feto mediante Doppler color. El desarrollo de la función sensoriomotora oral y la deglución durante el período fetal, constituyen otro pilar esencial para la supervivencia del recién nacido (Walusinski, 2010). La deglución fetal se produce tanto de forma espontánea como por estímulos dipsogénicos, contribuyendo a la homeostasis del líquido corporal fetal y a la regulación del volumen de líquido amniótico, ya que se ha

visto que estímulos como la deshidratación suelen originar respuestas de deglución en el feto (Guan et al., 2008).

En nuestro caso, se ha producido un aumento de la deglución fetal ante la variable **melodía modificada**, y una disminución de la misma ante las variables **orden, velocidad lento y rápido**, en comparación con la voz materna original. Únicamente hemos encontrado una publicación en la literatura que estudie el efecto de la estimulación vibroacústica en la deglución fetal. Se trata de un estudio de Petrikovsky (Petrikovsky, 1993) realizado en el año 1993 en 90 gestantes a término, en el que observó cómo la estimulación VAS produjo aumento de deglución de forma estadísticamente significativa, pasando de un 16.1% a un 44.3% tras la estimulación, produciendo en 7 casos oligoamnios, bradicardia fetal y deceleraciones en el registro cardiotocográfico.

5.2.10. Llanto.

El llanto consiste en la emisión de una serie de sonidos rítmicos, para lo cual es preciso de una coordinación entre la respiración y la musculatura facial. Posee un componente vocal, que está presente únicamente en la vida extrauterina, y un componente no-vocal, que es el que se desarrolla previo al nacimiento (Provasi et al., 2014). Resulta curioso pensar que un feto de tan solo 24 semanas de gestación sea capaz de sentir dolor, pero Reissland postuló que las expresiones faciales de dolor o llanto que se pueden identificar mediante ecografía 4D a esta edad gestacional, y sobre todo a lo largo del tercer trimestre, también son un reflejo del sistema madurativo neurológico fetal (Reissland et al., 2013, 2016b). Existen escasos estudios que analicen la respuesta que la estimulación acústica produce en el llanto fetal. Gingras observó que solo tras realizar una estimulación vibroacústica se producía llanto en el feto (Gingras et al., 2005), lo que sugeriría que el llanto fetal se produce cuando se “perturba” al feto. Además, este hecho demostraría integración afectiva de las respuestas motoras.

Los resultados de nuestro estudio muestran un aumento de llanto fetal en comparación a la voz materna original ante las variables **caos, orden** y **velocidad lenta**, y una disminución del mismo ante **armonía modificada, timbre modificado** y **velocidad rápido**. En este caso, podemos justificar que la variable caos, al ser la más alejada de la voz materna original, produzca un aumento del llanto fetal, ya que resultaría un sonido más “perturbador” para el feto, lo cual iría en consonancia con los resultados de Gingras. Sin embargo, desconocemos el porqué del comportamiento del feto ante el resto de variables.

La función del llanto en la vida postnatal es la vocalización, por lo que su desarrollo en el período intrauterino también sería considerado como un precursor del lenguaje. De hecho, se ha visto que recién nacidos de distinta nacionalidad presentan una entonación de llanto característica observada en su lengua materna (Mampe et al., 2009), lo que refuerza la teoría de que las características prosódicas de cada lenguaje se adquieren antes del nacimiento (Mampe et al., 2009; Provasi et al., 2014). Esto explicaría una particularidad casi única del recién nacido humano: el llanto que se produce justo tras el nacimiento. Podemos pensar que este hecho es un reflejo de incomodidad con el nuevo entorno, sin embargo, también supone un elemento de supervivencia de la especie humana.

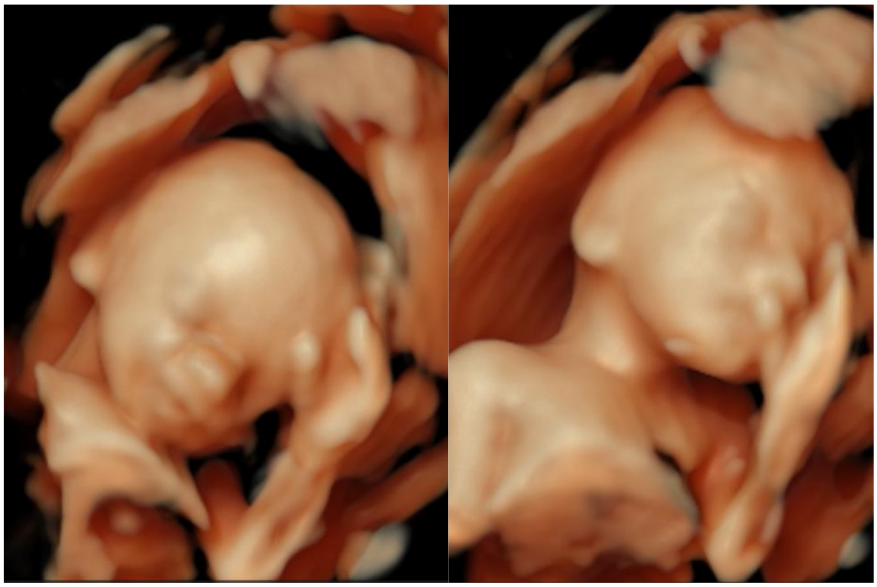
Además, en recién nacidos prematuros de 25 semanas se han observado expresiones faciales similares a las de los adultos que sufren dolor, lo que apoyaría el hecho de que el dolor está presente en estas tempranas edades gestacionales (Kadic et al., 2018). Estas reacciones podrían formar parte de un proceso adaptativo que se va completando conforme avanza la gestación, con el objetivo de reclamar el afecto de sus padres al nacimiento (Lagercrantz, 2014; Reissland et al., 2013). Podemos comprobar, por tanto, cómo las raíces de las emociones aparecen durante la vida fetal.

5.2.11. Cabeza.

Los movimientos de cabeza son observables en el feto desde el primer trimestre de gestación, de forma tan precoz como en la semana 7 de embarazo (Lebit et al., 2011). Posteriormente, la mayoría de autores describen una disminución de los movimientos de cabeza en el segundo y tercer trimestre (Hata, 2016; Kanenishi et al., 2013; Lebit et al., 2011).

Existen diversos estudios que han analizado los movimientos de cabeza en respuesta a la voz materna y a estimulación vibroacústica. Marx y Nagy encontraron una disminución de los movimientos de cabeza en respuesta a la voz materna en comparación a cuando la madre tocaba su abdomen (Marx et al., 2015). Del mismo modo, se han demostrado movimientos de cabeza en el feto en respuesta a estimulación vibroacústica en fetos de más de 26 semanas de gestación (Grant-Beuttler et al., 2011). Los autores interpretan este efecto como un acto de intentar “localizar” un estímulo novedoso.

Figura 45.
Captura de dos imágenes 4D donde se aprecia que se ha producido un movimiento de cabeza en el feto de la gestante G7 de nuestro estudio.



En nuestro caso, también se ha producido un aumento de movimientos de cabeza (véase Fig. 45) en respuesta a las variables **armonía modificada, dinámica modificada, timbre modificado** y **velocidad lento**, lo cual iría en consonancia con el estudio de Grant-Beuttler. En cambio, al igual que en la mayoría de los movimientos estudiados, se ha producido una disminución de los movimientos de cabeza en respuesta a la variable **caos**.

5.2.12. Extremidades: brazos, manos, dedos, piernas.

Está bien registrado y descrito que, al comienzo de la gestación, se producen movimientos groseros de piernas y brazos aislados. Incluso muchas veces estos movimientos son fruto de un movimiento de tronco, que los arrastra consigo de forma pasiva (Lebit et al., 2011). Hacia el final del primer trimestre aparecen movimientos más complejos, como flexión y extensión de dedos, o movimientos mano-cabeza o mano-boca, aunque inicialmente estos contactos suelen ser accidentales (Lebit et al., 2011; Stanojevic et al., 2002).

En nuestro caso, se ha producido una respuesta similar en el grupo de grandes extremidades (brazos y piernas), ya que tanto la variable **caos** como **velocidad rápido** han producido una disminución de los movimientos de ambas extremidades y las variables **armonía modificada** y **velocidad lento** han producido un aumento de los

mismos. De este modo, al igual que en la mayoría de movimientos estudiados con anterioridad, la variable **caos** ha producido una disminución de movimientos, así como con otras variables más frenéticas, como la de **velocidad rápido**. En cambio, la variable **velocidad lento** ha producido un aumento de ambos movimientos.

Hata y cols. describieron que el movimiento de brazos es el más frecuente entre las semanas 10-11, y el movimiento de salto en las semanas 12-13 de gestación (Hata, 2016). De este modo, se realizó un estudio (Myowa-Yamakoshi et al., 2006) con ecografía 4D para evaluar los movimientos de brazo/mano hacia la cara en fetos de 19 a 35 semanas de gestación, en el que se evidenció que más del 50% de los movimientos del brazo culminaron con la mano tocando la boca y, además, los fetos abrieron la boca antes del contacto con las manos. Estos hallazgos reflejan que los fetos tienen desarrollado el sistema de la propiocepción intraútero y que serían capaces de comprender el proceso de cómo mover su mano para tocarse la boca, por lo que poseen planificación motora. En las Fig. 46 y Fig. 47 observamos imágenes 4D de brazos, manos y dedos.

Figura 46.
Captura de imagen ecográfica 4D con el brazo del feto de la gestante G9 de nuestro estudio.

Figura 47.
Mano y dedos del feto de la gestante G18 de nuestro estudio.

Así mismo, diversas publicaciones parecen evidenciar que en gestaciones gemelares existen movimientos intencionados entre gemelos, con objeto de

interaccionar entre sí, desde la semana 14 de gestación (Castiello et al., 2010; Hata et al., 2011, 2012; Sasaki et al., 2010). Esto quiere decir que uno de los fetos es capaz de reconocer al otro gemelo como un ser humano y planear un comportamiento en función de este reconocimiento desde etapas muy precoces.

El comportamiento de las extremidades fetales ante estímulos acústicos o vibroacústicos también ha sido objeto de estudio. El grupo de Ogo (Ogo et al., 2019) no encontró diferencias significativas en los movimientos de extremidades en 68 fetos entre las semanas 24-40 tras estimulación VAS. Por su parte, Grant-Beuttler realizó estimulación VAS a 12 fetos y demostró un 88,8% de respuesta inmediata a VAS en el grupo de fetos de 26 semanas y un 83,3% en esos mismos fetos en la semana 36, describiendo movimientos más espasmódicos en la semana 26 y movimientos más suaves en la semana 36 (Grant-Beuttler et al., 2011). Además, los fetos de menor edad gestacional producían con la misma proporción movimientos de grandes y pequeñas extremidades, mientras que los de mayor edad gestacional produjeron más porcentaje de movimientos específicos y de pequeñas extremidades. Los autores justifican este hecho debido a la mayor habilidad para coordinar movimientos que adquieren los fetos conforme avanzan las semanas de gestación.

En cuanto a los estudios realizados con la voz materna, Marx y Nagy no encontraron diferencias significativas en el movimiento de brazos ni en el de manos tocándose el cuerpo. En cambio, sí se produjo un aumento significativo del movimiento de brazos cruzados en respuesta a la voz materna en comparación al tacto, aunque únicamente en el grupo de fetos del tercer trimestre (Marx et al., 2015). Los investigadores piensan que el movimiento de brazos cruzados es una actitud de descanso fetal, que disminuiría con la voz materna al constituir una respuesta fisiológica a la misma. Los autores dan importancia al hecho de que la estimulación haya sido con voz materna in situ, ya que autores previos (Shahidullah et al., 1994) describieron una disminución de la FCF en respuesta a la voz materna in situ, y un aumento de la misma ante la voz grabada, alegando que el feto sería capaz de diferenciar entre ambos estímulos y respondería aumentando su frecuencia cardíaca ante un estímulo novedoso.

En el caso de los movimientos de manos y dedos, ambos han aumentado ante la variable **orden**. En cambio, no han disminuido ante las mismas variables, ya que los movimientos de manos lo han hecho ante **melodía modificada** y los movimientos de dedos ante **dinámica modificada, velocidad lento** y **velocidad rápido**. El que ambos movimientos hayan aumentado con la variable **orden** sigue la línea de nuestros resultados previos, en los que la variable **caos** disminuye los movimientos fetales, aunque no se ha producido así en el caso de las pequeñas extremidades, en el que la

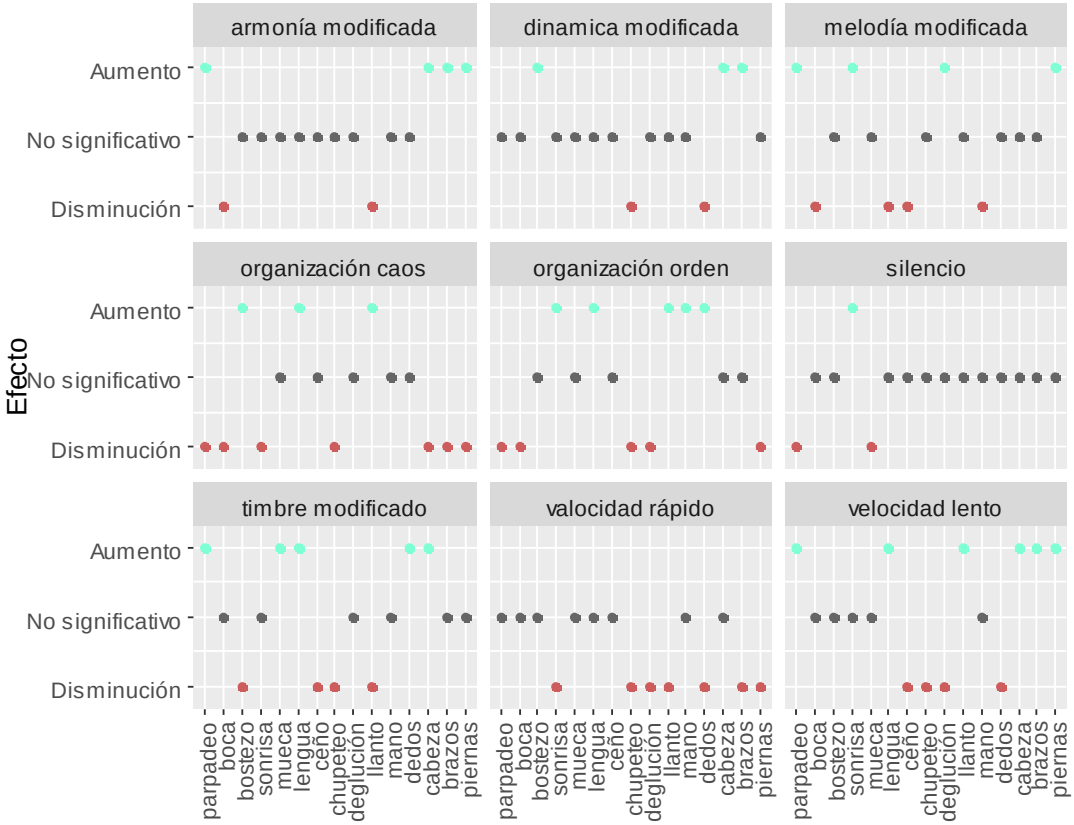
variable caos no ha producido resultados significativos. Como se ha descrito previamente, los movimientos de pequeñas extremidades son más específicos, precisos y coordinados, y pensamos que tiene sentido que aumenten ante la variable **orden**, que sería la referencia para el feto y probablemente más distinguible para él, produciendo un movimiento de orientación hacia el estímulo.

5.3. DISCUSIÓN GLOBAL.

La Fig. 48 resumen ilustrativamente la respuesta de los fetos a los elementos musicales de la voz materna de las 15 gestantes voluntarias de nuestro estudio. Observamos que, por lo general, las variables **caos** y **velocidad rápido** han provocado una disminución de la mayoría de los movimientos fetales con > 80% de probabilidad de efecto. Este hecho se ha producido en los movimientos de parpadeo (100%), apertura de boca (99.2%), sonrisa (80.4%), chupeteo (94.7%), cabeza (90.7%), brazos (91.2%) y piernas (99.4%) para la variable **caos**; y en los movimientos de sonrisa (85.9%), chupeteo (100%), deglución (99.2%), llanto (94.4%), dedos (93.6%), brazos (96.8%) y piernas (88.2%) para la variable **velocidad rápido**.

Figura 48.

Resumen de la respuesta fetal a elementos musicales basados en la voz materna.



La variable **caos** tiene como base la aleatoriedad, no siendo posible en ella detectar ningún patrón sonoro, y siendo este el estímulo musical más alejado de la voz materna original. Como ya se ha comentado con anterioridad, la explicación que damos a que el feto disminuya su actividad ante la presentación de este estímulo sonoro, es que éste quedase en un estado de "quietud" similar a la concentración, al detectar un sonido novedoso.

Bajo nuestro punto de vista, el hecho de que nuestros resultados discrepen en parte con la literatura puede ser debido a que la mayoría de estudios mencionados previamente se han realizado en fetos en el tercer trimestre de gestación, no siendo así en nuestro caso y a que, además, nuestras variables son mucho más precisas que la mera presencia o ausencia de sonido. También se ha podido comprobar cómo en el resto de estudios los fetos suelen aumentar su movimiento ante la estimulación VAS. Está descrito que esta conducta de "sobresalto" en el feto es más una actividad refleja del tronco del encéfalo que una respuesta fetal que implique un procesamiento selectivo, al resultar un estímulo demasiado violento (Kisilevsky et al., 2003), por lo que no consideramos que pueda ser un estímulo equiparable a los de nuestro estudio.

Diversos autores han afirmado que el feto es capaz de reconocer la voz de su madre dentro del útero, e incluso discriminarla de otras voces femeninas, alegando la existencia de un procesamiento cortical fetal selectivo para la voz de la madre frente a una voz desconocida (DeCasper et al., 1986; Fifer et al., 1994; Jardri et al., 2012; Kisilevsky et al., 2004; Marx et al., 2015). Además, como se ha expuesto previamente, al igual que en nuestro estudio, Kisilevsky y cols. describieron una disminución de la FCF ante un estímulo desconocido, sugiriendo atención por parte del feto. Aunque en este caso se analizó la FCF en lugar de los movimientos fetales, se pueden correlacionar ambas respuestas fisiológicas como una disminución de la actividad fetal.

Sin embargo, otras publicaciones (Fifer et al., 1994; Lecanuet et al., 2002; Voegtline et al., 2013) encontraron una disminución de la FCF en respuesta a la voz materna o incluso resultados inconcluyentes. Esta variación en los resultados entre los distintos estudios ha sido justificada tanto por diferencias metodológicas entre unos y otros, como por la forma de presentación del estímulo sonoro. En la mayoría de los experimentos, la voz materna ha sido presentada al feto en forma de altavoces vía abdominal o mediante una grabación de la voz materna. Investigadores como Hepper encontraron en fetos de 36 SG un aumento de la FCF en respuesta a la voz materna grabada, pero no ante la voz materna "in situ", lo cual nos habla de distintas respuestas fetales en función de la forma de presentación del estímulo y su capacidad para discriminar entre ambas (Hepper et al., 1993).

Por todos estos motivos decidimos realizar nuestro estudio con el dispositivo vaginal Babypod®, ya que es el dispositivo que ha mostrado mayor mejor calidad del sonido, con menor atenuación y con mayores condiciones de seguridad (López-Teijón et al., 2015).

Así mismo, en estudios que compararon la voz de la madre tal como sonaba después del nacimiento con su voz tal como sonaba en el útero (distinta por la atenuación del sonido en el útero), los recién nacidos mostraron preferencia por la voz materna tal como sonaba de forma intrauterina. Estos hallazgos confirman que los fetos son capaces de escuchar y aprender la voz de su madre antes del nacimiento (Hepper et al., 1994; Kadic et al., 2018; Shahidullah et al., 1994).

La fonación de la gestante constituye, por tanto, una prominente fuente de estimulación multimodal que será capaz de condicionar la maduración fetal. Durante las últimas semanas de embarazo, el feto responde al sonido de la voz de la madre con movimientos corporales, giros de cabeza y cambios en su frecuencia cardíaca. Esto, junto con el hecho de la preferencia selectiva por la voz materna, puede explicarse por la organización tonotópica de los núcleos cocleares y por la maduración del tronco encefálico durante las últimas semanas de gestación. Una propiedad considerable de los núcleos y vías del tronco encefálico es su plasticidad sináptica, lo que los hace susceptibles a la experiencia auditiva externa y capaces de "aprendizaje sináptico" (Kadic et al., 2018). Por tanto, la estimulación auditiva repetitiva, o la falta de ella, forja estas redes y vías, que a su vez responden selectivamente a los estímulos que las moldearon.

Vemos como desde antes de nacer, lo más próximo a nosotros, es decir, nuestra madre, podría dejarnos una impronta emblemática a través de la voz. Escuchando la voz de su madre a lo largo de la gestación, el feto va a ir almacenando las características musicales específicas de su voz, produciéndose entre las semanas 22- 24 de gestación un fenómeno de “habituación” (Hepper et al., 1996, 2012; James et al., 2002; Kadic et al., 2018; Leader et al., 1982; Peiper, 1925; Persico et al., 2017; Thompson, 1966; Van Heteren et al., 2000).

Como ya se comentó en la introducción, el primer autor en describir el proceso de habituación en un feto humano fue Peiper en 1925 (Peiper, 1925). Desde entonces, numerosas publicaciones a lo largo de los años han demostrado que el feto es capaz de desarrollar una memoria auditiva y reconocer estímulos vibroacústicos a los que ha estado expuesto de forma repetida, pudiendo reflejar la correcta función del sistema nervioso central fetal.

Como consecuencia, se ha propuesto que el estudio de la habituación fetal podría ser un reflejo de disfunciones en el neurodesarrollo. Un ejemplo de esto es que en fetos con síndrome de Down o trisomía 18 se ha visto diferencias en los patrones de habituación. Estas diferencias también se han descrito en fetos de madres diabéticas o con retraso de crecimiento intrauterino (James et al., 2002; Ogo et al., 2019; Persico et al., 2017; Shahidullah et al., 1994). Situaciones maternas como ansiedad o depresión pueden influir de forma negativa a la habituación fetal, pudiendo incluso producir retrasos en el desarrollo, debido a una alteración en la función de la corteza cerebral fetal (Kadic et al., 2018). Esto es un hecho destacable, puesto que las regiones prefrontal e hipocampal están involucradas en la detección automática y la habituación a eventos inesperados y son elementos clave de la respuesta de orientación en humanos.

Hepper ha realizado numerosos estudios y publicaciones acerca de la habituación, uno de ellos para evaluar si existen diferencias en los patrones de habituación entre fetos masculinos y femeninos, concluyendo que los fetos femeninos necesitan menor repetición del número de estímulos para conseguir la habituación, en comparación con fetos masculinos (Hepper et al., 2012). En cambio, no se encontraron diferencias en el comportamiento motor entre ambos (en cuanto a número de movimientos en respuesta a un estímulo) ni en puntuación KANET (Hata et al., 2016). Para explicar este fenómeno los autores sugieren que el feto femenino desarrolla un cerebro más compacto, junto con un entramado neuronal quizás más corto y una conectividad más compacta, lo que podría influir en el funcionamiento cognitivo. De este modo, fetos femeninos presentaron una mayor madurez cortical en comparación con fetos masculinos (Hata et al., 2016; Vasileiadis, 2007) y, por lo tanto, esto nos hace pensar que puedan procesar la información de manera más eficiente, produciéndose una respuesta de habituación más rápida y requiriendo menos estímulos (Hepper et al., 2012).

Del mismo modo, sabemos que conforme aumenta la edad gestacional es más probable que los fetos respondan a la presentación de un estímulo sonoro, que el rango de frecuencias al que responde se expande y que la intensidad del sonido necesaria para provocar una respuesta disminuye (Hepper et al., 1994). Además, Thompson y Spencer describieron que la tasa de habituación se ve afectada por la intensidad del estímulo, de forma que cuanto más débil es el estímulo, más rápida y/o más pronunciada es la habituación (Thompson, 1966).

En el caso de nuestro estudio, podríamos tener la duda de si se ha podido producir cierta habituación en el feto, respondiendo con un mayor número de movimientos en los

estímulos iniciales que en los estímulos del final de la pista de reproducción. Sin embargo, aunque esto no ha sido objeto de análisis en nuestra investigación, pensamos que el hecho de que cada estímulo sea distinto al anterior no daría lugar a una habituación fetal.

Comprobamos como el uso del paradigma de habituación nos brinda la posibilidad de analizar los orígenes de nuestro comportamiento y sus procesos psicológicos subyacentes antes del nacimiento (Hepper, 1996), encontrando en ella otra herramienta para evaluar el bienestar fetal intraútero, especialmente con respecto a la función neural, e incluso ser útil para predecir resultados en los recién nacidos. El seguimiento de las personas a lo largo del tiempo permite rastrear el desarrollo de estas habilidades desde su manifestación original hasta la infancia, por ejemplo, la capacidad de habituación del feto se ha relacionado con sus habilidades de procesamiento de información en los primeros 6 meses después del nacimiento (Gaultney et al., 2005).

Llegados a este punto nos podríamos plantear si la similitud o no a las características musicales de la voz materna, que, como hemos dicho, es distinguible por el feto, consiguieran condicionar una respuesta fetal. En 2001 Meyer definió el proceso de inhibición de tendencia, por el cual propone que, si un sujeto se expone de forma repetida a una sucesión sonora, con el tiempo no mostrará ningún tipo de respuesta ante este estímulo, ya que estará acostumbrado a esta secuencia, lo que denominaremos “tendencia”, lo que sería equiparable al concepto de habituación. Sin embargo, si introducimos algún tipo de cambio en esta sucesión sonora, la tendencia quedará inhibida, y el sujeto mostrará una respuesta (Amor Sánchez, 2016; Marín Pérez et al., 2019; Meyer, 2001).

Para intentar aplicar esta teoría al ámbito de la Medicina Fetal, debemos suponer que, para el feto, la voz de su madre representa un patrón sonoro que le resulta habitual y que le proporciona esta tendencia, ante la cual el feto debería mostrarse en actitud relajada. No obstante, si modificáramos esta tendencia normal, por ejemplo, con cambios en las características melódicas (intervalos y notas más frecuentes de la voz materna), el feto experimentará una respuesta, fruto del reconocimiento de un estímulo sonoro distinto (Amor Sánchez, 2016).

Sin embargo, en nuestro caso, no podemos afirmar que se haya cumplido del todo esta hipótesis, ya que a pesar de que el feto ha respondido ante estímulos sonoros distintos a la voz materna, su respuesta hacia los mismos no siempre ha sido aumentando sus movimientos. Pensamos que este hecho es justificable tanto por la

complejidad de los estímulos sonoros de nuestro estudio, como por una hipótesis demasiado reduccionista para un cerebro en desarrollo.

Diversos estudios apoyan que las características prosódicas son esenciales para la adquisición del lenguaje, e incluso que los recién nacidos están fuertemente influenciados por las características prosódicas de su idioma nativo mucho antes de que se produzcan las primeras palabras (Webb et al., 2015). De hecho, parece que el hecho de que los recién nacidos sean capaces de distinguir entre su lengua y una lengua desconocida, así como de discriminar la voz materna de otra voz femenina, sea precisamente por las características prosódicas del lenguaje (Kisilevsky et al., 2004; Provasi et al., 2014).

De este modo, una publicación de Mampe concluyó que los recién nacidos presentan distintas armonías de llanto debido a que estas melodías ya están desarrolladas de acuerdo con la lengua materna del bebé. Al analizar los patrones de melodía de llanto de 30 recién nacidos franceses y 30 alemanes, estos autores encontraron que las melodías de llanto estaban relacionadas con los patrones de entonación observados en cada idioma (Mampe et al., 2009). Este resultado enfatiza que cuando los recién nacidos producen sonidos, ya son capaces de reproducir algunas de las propiedades prosódicas del lenguaje específico al que fueron expuestos prenatalmente.

Otra de las teorías utilizadas para justificar el aprendizaje y respuesta fetal es la del condicionamiento clásico. El condicionamiento clásico es el método que involucra el emparejamiento de dos estímulos: un estímulo condicionado, que no origina una respuesta cuando se presenta solo; y un estímulo incondicionado, que sí provoca una respuesta cuando se presenta de forma aislada. Se ha descrito que después de la exposición repetida a estos dos estímulos, el estímulo condicionado también provoca una respuesta fetal denominada “respuesta condicionada” (Kadic et al., 2018). Utilizando un tono puro como estímulo condicionado y un estímulo vibroacústico como estímulo incondicionado, Hepper encontró una respuesta condicionada en fetos de 32 a 39 semanas de gestación (Hepper, 1997).

En los adultos, la estimulación auditiva modela las áreas del córtex cerebral que están envueltas en el procesamiento de sonidos complejos, como la música; y los cambios que se producen en la corteza auditiva son dependientes de la actividad de los circuitos sinápticos. Así mismo, en adultos, el procesamiento de los elementos musicales como la frecuencia y el tono se produce en el colículo inferior, por lo que es posible que el comportamiento fetal observado en respuesta a determinados estímulos

significique el comienzo de estas habilidades, reflejando la maduración del sistema auditivo y el desarrollo fisiológico de los núcleos auditivos del tronco del encéfalo, que transmitirán al colículo inferior la información basilar (Kisilevsky et al., 2004; Seppänen et al., 2007). Es por este motivo por el que probablemente la respuesta fetal a la música no tenga exclusivamente un origen cortical, ya que no es hasta cerca de la semana 40 de gestación cuando la longitud de la vía aumenta y el tiempo de conducción axonal alcanza la madurez casi total (Kisilevsky et al., 2004).

Por todos estos motivos es muy probable que características musicales como el tempo, el timbre, la armonía, e incluso los patrones musicales esperados sean aspectos musicales que se codifiquen desde etapas tan precoces como el período fetal. De hecho, estudios con resonancia magnética funcional en recién nacidos encuentran activación de regiones temporales posteriores izquierdas en respuesta a la voz materna, así como de áreas involucradas en el procesamiento emocional, como la amígdala y el córtex orbito-frontal. En cambio, la voz de un extraño produciría una activación cortical más genérica (Webb et al., 2015).

De este modo, en fetos, la experiencia sensorial y motora prenatal será capaz de modificar la estructura y función de la corteza auditiva, pudiendo este proceso verse afectado dramáticamente por sucesos estresantes durante el período intrauterino. Este desarrollo proseguirá en las semanas siguientes al nacimiento y a lo largo del primer año de vida (Fifer et al., 1994; Moon, 2011). Por este motivo, la exposición musical durante la gestación va a ser capaz de producir cambios tanto en el comportamiento fetal como neonatal. Hepper demostró que aquellos recién nacidos cuyas madres descansaron a menudo frente a cierto programa de televisión durante el embarazo mostraron un estado de alerta, con disminución de su frecuencia cardíaca y de sus movimientos, unos días después del nacimiento cuando se reprodujo el tema musical del programa. Estos resultados nos muestran que el feto es capaz de aprender y recordar estímulos auditivos familiares y retener esta información durante el período del nacimiento (Hepper, 1988).

Diversos autores han comprobado que en las mujeres embarazadas la musicoterapia es beneficiosa (Chorna et al., 2019; Estrella-Juarez et al., 2023; García-González et al., 2017, 2018; Kafali et al., 2020), siendo considerada como una intervención no invasiva aceptada tanto científica como culturalmente, y con múltiples efectos positivos directos e indirectos en la madre y el feto durante el embarazo y el periodo perinatal. Esta experiencia musical va a tener una influencia directa en las emociones por medio del sistema de neurotransmisores (Persico et al., 2017; Simavli et

al., 2014), ya que se ha visto que el efecto beneficioso observado en los fetos no estaría mediado de forma directa por la música, sino por mediadores endocrinos maternos. En respuesta a la música en la madre se produciría un aumento de los niveles de cortisol, testosterona y estrógenos, que poseen efectos endocrinos y neuromoduladores, favoreciendo el correcto desarrollo neuronal fetal (Arya et al., 2012).

No podemos olvidar la importancia de utilizar las características de seguridad apropiadas para permitir que el feto detecte el lenguaje y la música y aprenda las formas más primitivas de la comunicación, sin que esto suponga un insulto para su ambiente intraútero. Así como el cerebro fetal es maleable por los sonidos circundantes, también será vulnerable a efectos acústicos dañinos del medioambiente. A pesar de que el habla de los padres dirigida al feto puede tener efectos positivos en su desarrollo, la exposición repetida a estímulos sonoros anormales, desestructurados y no fisiológicos, parece no ser recomendable, pudiendo interferir en los procesos neurológicos que subyacen a la percepción del habla, sobre todo en el hemisferio izquierdo, que es el especializado en el lenguaje. De hecho, se ha postulado que la estimulación inoportuna o excesiva de un sentido de modo aislado, puede suponer una interferencia en los patrones de desarrollo normal, pudiendo acarrear desórdenes en el desarrollo del recién nacido (Irvine, 2018; Trevarthen, 2000). Sabemos que las condiciones intrauterinas de aislamiento del feto a estímulos externos limitan fisiológicamente estímulos sensoriales simultáneos o competitivos, por lo que así se consigue un ambiente ideal para la maduración y organización del sistema sensorial (Brosch, 2000; Tomatis, 1990).

Desde la concepción hasta el nacimiento, todo feto en desarrollo establece una relación única con su progenitora, que comienza durante el establecimiento del embarazo. Dicho vínculo es de extrema importancia para el desarrollo y el bienestar fetal (Wright, 2023). Durante el embarazo, son frecuentes en las madres síntomas de estrés, ansiedad, e incluso en ocasiones un estado de ánimo depresivo, pareciendo existir una clara asociación entre niveles altos de estrés materno y resultados más pobres en la relación madre-hijo en el período postnatal (Kafali et al., 2020; Persico et al., 2017; Sanyal et al., 2013). Un aspecto notable tanto del apego como de la adquisición del lenguaje es que dependen de la experiencia y que existen períodos sensibles o críticos para ambos, que están causados por la plasticidad neuronal temprana (Fifer et al., 1994). Por eso, es lógico pensar que, si privásemos al feto durante su ambiente intrauterino de ciertos estímulos necesarios para su correcto desarrollo neurológico, estaríamos condicionándolo.

La voz materna se considera el mayor estímulo acústico continuo para recorrer la vida prenatal hacia la postnatal y fomentar el vínculo madre-hijo. Por este motivo también pensamos que el estado de alerta materno puede ser un factor influyente en la respuesta fetal al estímulo. El grupo de estudio de Voegtline mostró diferencias en el grado de actividad fetal en función del estado basal de las madres previo a la presentación del estímulo (voz materna hablada) (Voegtline et al., 2013). De este modo, describieron que los fetos de las madres que habían estado despiertas y hablando previamente a la exposición al estímulo, mostraron una disminución de la amplitud de los movimientos, y que, en cambio, los fetos de las madres que habían estado anteriormente descansando, respondían con un aumento de sus movimientos y elevación de la FCF. La interpretación que dan a estos resultados es que los fetos de madres que habían estado hablando son capaces de producir una respuesta de orientación al estímulo, en lugar de la respuesta de sobresalto que producirían los de las madres que habían estado descansando.

Así mismo, la velocidad prosódica puede ser indicativa de estados emocionales fuertemente imbricados con respuestas fisiológicas concretas, como aumento de la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Por tanto, la voz materna en forma de prosodia lenta podría correlacionarse con un estado de calma o bienestar (pensemos en las nanas), mientras que una prosodia rápida podría ser indicativa de estados emocionales alterados. En cambio, en nuestros resultados, el estímulo **velocidad rápido** produjo una disminución de movimientos fetales en la mayoría de casos.

Pero los efectos beneficiosos de la voz materna no solo han sido estudiados durante la gestación, sino que también se ha analizado el efecto de la estimulación prenatal con el comportamiento del niño a largo plazo. Uno de los estudios más interesantes al respecto (Ruan et al., 2017), analizó en China a casi 40.000 niños a la edad de 3 años, a los que se realizó la escala ABC (*Autism Behavioral Checklist*), que se utiliza como screening del autismo. Aquí se observó que los niños que habían sido menos estimulados prenatalmente, ya fuera con la voz materna o con música, tenían un incremento de comportamiento del espectro autista. Así mismo, una reciente revisión de la Cochrane (Geretsegger et al., 2022) también describió que la terapia musical en los niños mejoraba significativamente los síntomas del espectro autista, incluyendo interacción social, comunicación verbal, comportamiento social-emocional o adaptación social. Estos beneficios se producirían mediante la neurogénesis del hipocampo y de algunas capas de la corteza motora y somatosensorial.

Comprobamos, por tanto, la importancia de la relación del feto con la infinidad de estímulos que surgen a su alrededor y como la voz, el habla y la música contienen

diferentes componentes rítmicos que son reconocidos por el feto y el recién nacido. Como estas son las señales auditivas predominantes en el útero, es razonable suponer que juegan un papel crucial en la percepción y el aprendizaje, y que una adecuada estimulación prenatal incluso podría mejorar el desarrollo y plasticidad cerebral en la vida post natal.

Además, la evaluación de la calidad de los movimientos fetales es una ventana para la detección temprana de niños en alto riesgo de padecer trastornos del desarrollo y que, mediante su implementación en la práctica clínica diaria, se podría conseguir mejorar el diagnóstico e incluso el pronóstico de estos, así como dar a los padres una información sobre las repercusiones futuras que muchas veces resulta difícil de dilucidar.

5.4. FORTALEZAS Y DEBILIDADES.

Pensamos que resulta pertinente hacer un análisis crítico del estudio sobre la influencia de las características prosódicas de la voz materna en los movimientos fetales.

5.4.1. Fortalezas del estudio:

- Innovación y originalidad: el estudio destaca por su carácter innovador, siendo el primero en analizar cómo influyen las diferentes características prosódicas de la voz materna en 15 movimientos fetales distintos. Es decir, va mucho más allá de la observación de una respuesta genérica a un sonido complejo y probablemente inasumible por el feto, como es la música entendida por los adultos con experiencia cultural. Este enfoque diferencial aporta una nueva perspectiva al campo de la investigación prenatal y en la evaluación del neurodesarrollo. Por este motivo, para poder discutir nuestros resultados, hemos intentado extrapolarlos a resultados de estudios similares, que tenían en cuenta la influencia de la voz materna, estímulos vibroacústicos, o incluso variables como la frecuencia cardíaca fetal, aunque probablemente éstos no produzcan los mismos efectos en el feto que nuestros estímulos musicales basados en el análisis de la voz materna.

- Metodología compleja y minuciosa: la metodología aplicada es robusta y detallada, habiendo precisado de un equipo multidisciplinar para poder llevarse a cabo. El diseño del estudio requirió un análisis exhaustivo de la voz materna para crear estímulos personalizados, lo que representa una innovación significativa. Además, la adaptación técnica ha requerido de un extenso trabajo hasta ser optimizada, por ejemplo, para evitar decalajes entre la imagen ecográfica 4D y el sonido, o para solventar cambios en la posición fetal durante su valoración, por lo que en este sentido, asegura la precisión en los resultados.

- Enfoque estadístico: la utilización de la estadística bayesiana en lugar de la frecuentista ha permitido una interpretación más profunda y adecuada de los resultados, facilitando comparaciones más significativas con estudios previos. Decidimos dejar de lado la clásica estadística frecuentista, debido a que en nuestro trabajo no podíamos limitarnos a aceptar o rechazar una decisión dicotómica.

- Repercusión y reconocimiento: nuestro estudio ha tenido un notable impacto mediático y ha sido reconocido a nivel regional y nacional, siendo publicada en prensa regional pero, sobre todo, seleccionada como comunicación elevada a ponencia en el Congreso Nacional de la Sección de Medicina Perinatal de la SEGO en el año 2018, donde presentamos nuestros resultados preliminares.

5.4.1. Debilidades del estudio:

- Tamaño muestral: aunque se planificó incluir 30 voluntarias, la pandemia de la COVID 19 limitó el estudio a 15 participantes. Sin embargo, el análisis de 60,750 variables se ha considerado adecuado según el asesoramiento estadístico. Aun así, la comparación con estudios similares (Marx et al., 2015; Nagy et al., 2021; Reissland et al., 2016b) que utilizan tamaños muestrales equivalentes, también respalda que esta limitación es solventable para su consideración científica.

- Subjetividad en la valoración de movimientos fetales: la subjetividad en la interpretación de las imágenes ecográficas en 4D es una debilidad, especialmente dado que dos de las observadoras del estudio eran estudiantes de medicina, sin formación específica en ecografía. Aunque se logró una buena concordancia interobservadora en la mayoría de los movimientos, hubo mayor variabilidad en los movimientos de extremidades y cabeza.

- *Timing* de la estimulación auditiva: en nuestro caso, el estudio se realizó en fetos de 25 a 28 semanas de gestación, mientras que muchos estudios previos

encontraron resultados significativos con estimulación acústica tan solo en el tercer trimestre (Bellieni et al., 2005; Gonzalez-Gonzalez et al., 2006; Kisilevsky et al., 2003, 2004, 2009; Marx et al., 2015; Ogo et al., 2019; Petrikovsky et al., 1999, 2003; Reissland et al., 2016b; Voegtline et al., 2013).

Pese a que sabemos que la cóclea es funcional desde la semana 24 de gestación (Moon, 2011), parece que la maduración completa del sistema auditivo no se alcanza hasta la semana 33, por lo que algunos autores refieren que resulta improbable que fetos menores de esa edad gestacional sean capaces de procesar estímulos auditivos complejos, como puede ser la música (Jardri et al., 2012; Kisilevsky et al., 2004).

No obstante, sí que se han descrito respuestas a la misma en la frecuencia cardiaca, expresiones faciales e incluso en la influencia del dolor en recién nacidos prematuros desde la semana 31 (Chorna et al., 2019; Kisilevsky et al., 2004; Persico et al., 2017). Además, entre las semanas 26 y 28, se pueden registrar potenciales evocados desde la corteza cerebral, lo que indica que desde este momento ya existe cierta conexión funcional entre la periferia y la corteza (Kadic et al., 2018; Klimach et al., 1988). Diversos estudios con potenciales evocados en prematuros de esta edad gestacional han demostrado actividad cortical temprana procedente de la señal coclear (Chorna et al., 2019; Morlet et al., 1995), así como el grupo de Partanen evidenció respuestas en EEG de recién nacidos que habían sido estimulados musicalmente desde la semana 29 vs los que no habían sido sometidos a esta estimulación.

- Complejidad de los estímulos musicales: la complejidad de los estímulos musicales basados en la descomposición de la prosodia materna en 45 variables podría haber sido demasiado alta para el desarrollo cerebral fetal en las semanas gestacionales estudiadas. Si bien parece que los fetos responden a un estímulo musical que se ha presentado repetidamente y que son capaces de discriminar algunas características de la música, como notas o tempo (Lecanuet et al., 2000), bajo nuestro punto de vista, no podemos establecer la correlación de que un determinado elemento musical aumente o disminuya cierto movimiento fetal concreto.

En resumen, este estudio aporta una nueva dimensión al conocimiento sobre la respuesta fetal a estímulos auditivos, destacándose por su innovación y metodología rigurosa, a pesar de las limitaciones en el tamaño muestral y la complejidad de los estímulos. Las futuras investigaciones podrían beneficiarse de estos hallazgos para desarrollar estímulos auditivos más efectivos y adecuados para el desarrollo prenatal.

6. Conclusiones

1. Metodológicamente, se ha diseñado un protocolo de estudio en el que se ha conseguido una estimulación auditiva fetal compuesta por estímulos musicales basados en la voz materna.

2. Se ha conseguido una buena concordancia interobservadora para la mayoría de movimientos fetales, lo cual nos indica que el procedimiento cuantitativo para valorar la respuesta fetal mediante ecografía 4D tiene validez y fiabilidad.

3. Resulta muy difícil correlacionar la respuesta de un movimiento fetal concreto con cada elemento musical, aunque sí se puede cuantificar una respuesta a éste.

   3.1. El estudio no permite establecer un patrón claro de comportamiento fetal ante la variación de estímulos musicales. Sin embargo, se observó que la mayoría de los movimientos (apertura de boca, parpadeo, chupeteo, sonrisa, deglución, llanto, cabeza, brazos, piernas y dedos) disminuyeron en frecuencia ante las variables de “caos” y “velocidad rápida” en comparación con la voz materna original. Interpretamos este hecho como un estado de atención fetal ante estímulos alejados del patrón de referencia materno.

   3.2. La influencia que han ejercido el resto de variables en el comportamiento fetal, aun siendo significativas en muchos de los casos, con una probabilidad de efecto mayor al 80%, no permiten establecer una conducta fetal concreta.

3.3. Los resultados son prometedores al demostrar que el feto es capaz de responder tanto a la voz materna original como a variaciones en sus características musicales.

3.4. Nos hemos encontrado con limitaciones técnicas y biológicas que impiden la determinación precisa elemento musical - respuesta fetal.

7. Resumen

7.1. RESUMEN EN CASTELLANO

La respuesta fetal a la voz materna y a los distintos estímulos auditivos externos ha supuesto un fascinante campo de estudio a lo largo de los años. Gracias a diversos trabajos, en la actualidad sabemos que los fetos son capaces de percibir la voz materna con tan solo 16 semanas de gestación. Sin embargo, la percepción que el feto tiene sobre los distintos elementos musicales de la voz de su madre, como el timbre, el tempo o el tono aún está por dilucidar.

Los objetivos de la presente tesis doctoral son: diseñar una metodología de estimulación musical fetal vía intravaginal basada en la voz materna, establecer un procedimiento cuantitativo para valorar la respuesta fetal por ecografía 4D y analizar la respuesta motora fetal ante la estimulación musical basada en la voz materna.

Para ello se realizó un estudio en 15 gestantes en el segundo trimestre, a las que se les realizó una grabación de su voz, a partir de la cual se crearon 110 estímulos musicales distintos, alterando las distintas características prosódicas de la voz materna: según la organización del sonido (habituación, referencia, orden y caos), según la velocidad de reproducción (lento, normal y rápido) y según sus características prosódicas (melodía, armonía, dinámica y timbre).

Posteriormente, se procedió a la estimulación musical fetal. Los estímulos sonoros se reprodujeron a través de un dispositivo de reproducción intravaginal, y se monitorizó la respuesta fetal mediante ecografía 4D en forma de movimientos o expresiones faciales. Éstos fueron recogidos cuantitativamente en una tabla, otorgando una puntuación de 0 (no hay movimiento) a 3 (máximo movimiento). Este análisis se llevó a cabo por tres observadoras distintas, para realizar así mismo un estudio de concordancia interobservador y objetivar la reproducibilidad del experimento.

Para estudiar la asociación entre los distintos estímulos musicales y los movimientos fetales se utilizaron modelos de regresión ordinal mixtos ajustados mediante inferencia bayesiana y para analizar la concordancia interobservador se realizaron dos análisis complementarios: el primero para contrastar las diferencias dos a dos entre las tres observadoras y el segundo para caracterizar las diferencias de concordancia interobservador entre las distintas variables de movimiento.

Los resultados de la concordancia interobservador evidenciaron una variabilidad baja en los movimientos protrusión de la lengua, deglución, llanto chupeteo, sonrisa, bostezo, fruncimiento de ceño, parpadeo, movimiento de los dedos, apertura de boca y mueca. En cambio, las variables movimiento de brazos, manos, piernas y cabeza presentaron un mayor número de diferencias y éstas fueron de mayor magnitud.

En cuanto a la respuesta fetal ante los distintos estímulos musicales, las variables “caos” y “velocidad rápido” fueron las que produjeron cambios en el comportamiento fetal con mayor frecuencia, produciéndose una disminución de los movimientos fetales en la mayoría de los casos. El resto de variables, a pesar de producir efectos en el comportamiento fetal con >90% de probabilidad de efecto (probabilidad elevada de que se produzca ese suceso) en muchos casos, no siguieron un patrón claro de conducta fetal.

Como conclusiones, se ha diseñado un protocolo de estudio metodológicamente correcto, con una buena concordancia interobservador, en el que se ha objetivado una disminución general de movimientos y expresiones faciales fetales ante los estímulos “caos” y “velocidad rápido”, basados en alteraciones prosódicas de la voz materna, hecho que interpretamos como una muestra de atención fetal ante un estímulo novedoso. A pesar de ello, con la metodología empleada y la complejidad de los estímulos sonoros resulta muy difícil correlacionar la respuesta de un movimiento fetal concreto con cada elemento musical, aspecto que tendrá que seguir siendo objeto de investigación en un futuro.

7.2. RESUMEN EN INGLÉS

The fetal response to the maternal voice and different external auditory stimuli has been a fascinating field of study over the years. Through different studies, we currently know that fetuses can perceive the mother's voice as early as 16 weeks of gestation. However, the specific perception of the different musical elements in the mother's voice by the fetus, such as timbre, tempo, or pitch, remains to be elucidated.

This doctoral thesis aims to design a methodology for intravaginal fetal musical stimulation based on the maternal voice, establish a quantitative procedure to assess the fetal response by 4D ultrasound and analyze the fetal motor response to musical stimulation based on the maternal voice.

To investigate this, a study was conducted involving 15 pregnant women in the second trimester. Each participant provided a recording of their voice made, from which 110 different musical stimuli were created by altering the different prosodic characteristics of the maternal voice. These stimuli were categorized according to the organization of sound (habituation, reference, order, and chaos), the speed of reproduction (slow, normal and fast) and the prosodic characteristics (melody, harmony, dynamics, and timbre).

Subsequently, fetal musical stimulation was performed. Using an intravaginal playback device to deliver the sound stimuli. Fetal responses were monitored using 4D ultrasound capturing movements or facial expressions. These responses were quantified in a table with a scoring system ranging from 0 (no movement) to 3 (maximum movement). The analysis was carried out by three different observers to assess interobserver agreement and ensure the experiment's reproducibility.

To study the association between the different musical stimuli and fetal movements, mixed ordinal regression models adjusted by Bayesian inference were used. To analyze the interobserver agreement, two complementary analyses were conducted: the first to compare pairwise differences between the three observers and the second to characterize the differences in interobserver agreement across the different movement variables.

The results of interobserver agreement analysis showed low variability in movements such as tongue protrusion, swallowing, crying, sucking, smiling, yawning, frowning, blinking, finger movement, mouth opening, and grimacing. In contrast, greater variability and more significant differences were observed in the movements of the arms, hands, legs, and head.

Regarding the fetal response to the different musical stimuli, the variables ""chaos" and "fast speed" most frequently produced changes in fetal behavior typically resulting in a decrease in fetal movements in most cases. Although, other variables had a high probability (>90%) of influencing fetal behavior, they did not produce a consistent pattern of response.

In conclusion, a methodologically robust study protocol was designed, demostrating good interobserver agreement. The study showed a general decrease in fetal movements and facial expressions in response to the "chaos" and "fast speed" stimuli based on prosodic alterations of the maternal voice. This response is interpreted as a sign of fetal attention to a novel stimulus. However, due to complexity of the sound stimuli and the methodology used, it is challenging to correlate specific fetal movements with individual musical elements, warrating further research in this area.

8. Bibliografía

Aboellail, M. A. M., & Hata, T. (2017). Fetal face as important indicator of fetal brain function. *Journal of Perinatal Medicine*, *45*(6), 729–736. https://doi.org/10.1515/jpm-2016-0377

AboEllail, M. A. M., Kanenishi, K., Mori, N., Mohamed, O. A. K., & Hata, T. (2018). 4D ultrasound study of fetal facial expressions in the third trimester of pregnancy. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*, *31*(14), 1856–1864. https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1330880

Alabbasi, Y., Parker, L., Weaver, M., & Krueger, C. (2023). Maternal Voice Exposure and Its Effect on Premature Infants' Feeding Milestones: A Systematic Review. *Advances in Neonatal Care: Official Journal of the National Association of Neonatal Nurses*, *23*(2), E40–E49. https://doi.org/10.1097/ANC.0000000000001029

Amor Sánchez, B. (2016). *Estudio de la respuesta fetal a elementos musicales de la voz materna*. [Trabajo Final de Máster, Universidad Internacional de Valencia].

Ananth, C. (1997). Regression models for ordinal responses: a review of methods and applications. *International Journal of Epidemiology*, *26*(6), 1323–1333. https://doi.org/10.1093/ije/26.6.1323

Andonotopo, W., Medic, M., Salihagic-Kadic, A., Milenkovic, D., Maiz, N., & Scazzocchio, E. (2005). The assessment of fetal behavior in early pregnancy: comparison between 2D and 4D sonographic scanning. *Journal of Perinatal Medicine*, *33*(5), 406–414. https://doi.org/10.1515/JPM.2005.073

Andonotopo, W., & Kurjak, A. (2006). The assessment of fetal behavior of growth restricted fetuses by 4D sonography. *Journal of Perinatal Medicine*, *34*(6), 471–478. https://doi.org/10.1515/JPM.2006.092

Arabin, B., & Jahn, M. (2016). Need for interventional studies on the impact of music in the perinatal period: results of a pilot study on women's preferences and review of the literature. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, *26*(4), 357–362. https://doi.org/10.3109/14767058.2012.733763

Arya, R., Chansoria, M., Konanki, R., & Tiwari, D. K. (2012). Maternal Music Exposure during Pregnancy Influences Neonatal Behaviour: An Open-Label Randomized Controlled Trial. *International Journal of Pediatrics*, *2012*, 901812. https://doi.org/10.1155/2012/901812

Athanasiadis, A. P., Mikos, T., Tambakoudis, G. P., Theodoridis, T. D., Papastergiou, M., Assimakopoulos, E., & Tarlatzis, B. C. (2013). Neurodevelopmental fetal assessment using KANET scoring system in low and high risk pregnancies. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine : The Official Journal of the European Association of Perinatal Medicine, the Federation of Asia and Oceania Perinatal Societies, the International Society of Perinatal Obstetricians*, *26*(4), 363–368. doi: 10.3109/14767058.2012.695824

Bayes, T. (1764). An Essay Toward Solving a Problem in the Doctrine of Chances. In *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (Vol. 53, pp. 370–418).

Bellieni, C. V., Severi, F., Bocchi, C., Caparelli, N., Bagnoli, F., Buonocore, G., & Petraglia, F. (2005). Blink-startle reflex habituation in 30-34-week low-risk fetuses. *Journal of Perinatal Medicine*, *33*(1), 33–37. https://doi.org/10.1515/JPM.2005.005

Berent, I., Steriade, D., Lennertz, T., & Vaknin, V. (2007). What we know about what we have never heard: evidence from perceptual illusions. *Cognition*, *104*(3), 591–630. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.015

Birnholz, J. C., & Benacerraf, B. R. (1983). The development of human fetal hearing. *Science (New York, N.Y.)*, *222*(4623), 516–518. https://doi.org/10.1126/science.6623091

Brennan, P., & Silman, A. (1992). Statistical methods for assessing observer variability in clinical measures. *BMJ*, *304*(6840), 1491–1494. https://doi.org/10.1136/bmj.304.6840.1491

Brosch, H. (2000). Sound therapy according to Alfred Tomatis. *Kinderkrankenschwester : Organ der Sektion Kinderkrankenpflege*, *19*(10), 412–414. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11190165

Brown, S. (2017). A Joint Prosodic Origin of Language and Music. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1894. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01894

Busnel, M. C., Granier-Deferre, C., & Lecanuet, J. P. (1992). Fetal Audition. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *662*(1 Developmental), 118–134. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1992.tb22857.x

Bustos Sánchez, I. (2003). *La voz: la técnica y la expresión* (Paidotribo, Ed.). Paidotribo.

Carreras, E., Maroto, A., Illescas, T., Meléndez, M., Arévalo, S., Peirõ, J. L., García-Fontecha, C. G., Belfort, M., & Cuxart, A. (2016). Prenatal ultrasound evaluation of segmental level of neurological lesion in fetuses with myelomeningocele: Development of a new technique. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, *47*(2), 162–167. https://doi.org/10.1002/uog.15732

Castiello, U., Becchio, C., Zoia, S., Nelini, C., Sartori, L., Blason, L., D'Ottavio, G., Bulgheroni, M., & Gallese, V. (2010). Wired to be social: the ontogeny of human interaction. *PloS One*, *5*(10), e13199. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013199

Charles Darwin. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals* (A. S. John Murray, Ed.). London.

Chorna, O., Filippa, M., Almeida, J., Lordier, L., Monaci, M. G., Hüppi, P., Grandjean, D., & Guzzetta, A. (2019). Neuroprocessing mechanisms of music during fetal and neonatal development: A role in neuroplasticity and neurodevelopment. *Neural Plasticity*. https://doi.org/10.1155/2019/3972918

DeCasper, A., Granier-Deferre, C., Fifer, W. P., & Moon, C. M. (2011). Measuring fetal cognitive development: when methods and conclusions don't match. *Developmental Science*, *14*(2), 224–225. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.01027.x

DeCasper, A., & Spence, M. J. (1986). Prenatal maternal speech influences newborns' perception of speech sounds. *Infant Behavior and Development*, *9*(2), 133–150. https://doi.org/10.1016/0163-6383(86)90025-1

Detry, M. A., & Ma, Y. (2016). Analyzing Repeated Measurements Using Mixed Models. *JAMA*, *315*(4), 407. https://doi.org/10.1001/jama.2015.19394

Dirix, C. E. H., Nijhuis, J. G., Jongsma, H. W., & Hornstra, G. (2009). Aspects of fetal learning and memory. *Child Development*, *80*(4), 1251–1258. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01329.x

Eggermont, J. J. (1992). Development of auditory evoked potentials. *Acta Oto-Laryngologica*, *112*(2), 197–200. https://doi.org/10.1080/00016489.1992.11665403

Einspieler, C., Prayer, D., & Marschik, P. B. (2021). Fetal movements: the origin of human behaviour. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *63*(10), 1142–1148. https://doi.org/ 10.1111/dmcn.14918

Estrella-Juarez, F., Requena-Mullor, M., Garcia-Gonzalez, J., Lopez-Villen, A., & Alarcon-Rodriguez, R. (2023). Effect of Virtual Reality and Music Therapy on the Physiologic Parameters of Pregnant Women and Fetuses and on Anxiety Levels: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Midwifery & Women's Health*, *68*(1), 35–43. https://doi.org/10.1111/jmwh.13413

Ferrari, G. A., Nicolini, Y., Demuru, E., Tosato, C., Hussain, M., Scesa, E., Romei, L., Boerci, M., Iappini, E., Prati, G. D. R., Palagi, E., & Ferrari, P. F. (2016). Ultrasonographic investigation of human fetus responses to maternal communicative and non-communicative stimuli. *Frontiers in Psychology*, *7*(MAR), 1–10. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00354

Fifer, W. P., & Moon, C. (1989). Psychobiology of newborn auditory preferences. *Seminars in Perinatology*, *13*(5), 430–433.

Fifer, W. P., & Moon, C. M. (1994). The role of mother's voice in the organization of brain function in the newborn. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway : 1992). Supplement*, *397*, 86–93. https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1994.tb13270.x

Francois Le Huche, & Andre Allali. (2004). *Anatomia y Fisiologia de los órganos de la voz y del habla* (Elsevier-Masson, Ed.; Vol. 1). Barcelona.

Gallo, E., Reyzábal, M., & Santiuste, V. (2008). Música y Lingüística. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, *4 (1)*, 315-323 http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349832319033

García González, J., Ventura Miranda, M. I., Manchon García, F., Pallarés Ruiz, T. I., Marin Gascón, M. L., Requena Mullor, M., Alarcón Rodriguez, R., & Parron Carreño, T. (2017). Effects of prenatal music stimulation on fetal cardiac state, newborn anthropometric measurements and vital signs of pregnant women: A randomized controlled trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, *27*, 61–67. https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2017.03.004

García González, J., Ventura Miranda, M. I., Requena Mullor, M., Parron Carreño, T., & Alarcón Rodriguez, R. (2018). Effects of prenatal music stimulation on state/trait anxiety in full-term pregnancy and its influence on childbirth: a randomized controlled trial. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine : The Official Journal of the European Association of Perinatal Medicine, the Federation of Asia and Oceania Perinatal Societies, the International Society of Perinatal Obstetricians*, *31*(8), 1058–1065. https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1306511

García González, J., Ventura-Miranda, M. I., Requena-Mullor, M., Parron-Carreño, T., & Alarcón-Rodríguez, R. (2018). State-trait anxiety levels during pregnancy and

foetal parameters following intervention with music therapy. *Journal of Affective Disorders*, *232*, 17–22. https://doi.org/10.1016/j.jad.2018.02.008

Gaultney, J. F., & Gingras, J. L. (2005). Fetal rate of behavioral inhibition and preference for novelty during infancy. *Early Human Development*, *81*(4), 379–386. https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2004.09.007

Geretsegger, M., Fusar-Poli, L., Elefant, C., Mössler, K. A., Vitale, G., & Gold, C. (2022). Music therapy for autistic people. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, *5*(5), CD004381. https://doi.org/10.1002/14651858.CD004381.pub4

Gerhardt, K. J., & Abrams, R. M. (2000). Fetal exposures to sound and vibroacoustic stimulation. *Journal of Perinatology : Official Journal of the California Perinatal Association*, *20*(8 Pt 2), S21-30. https://doi.org/10.1038/sj.jp.7200446

Gingras, J. L., Mitchell, E. A., & Grattan, K. E. (2005). Fetal homologue of infant crying. *Archives of Disease in Childhood: Fetal and Neonatal Edition*, *90*(5). https://doi.org/10.1136/adc.2004.062257

González-González, N. L., Suarez, M. N., Perez-Piñero, B., Armas, H., Domenech, E., & Bartha, J. L. (2006). Persistence of fetal memory into neonatal life. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, *85*(10), 1160–1164. https://doi.org/10.1080/00016340600855854

Granier-Deferre, C., Ribeiro, A., Jacquet, A.-Y., & Bassereau, S. (2011). Near-term fetuses process temporal features of speech. *Developmental Science*, *14*(2), 336–352. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00978.x

Grant-Beuttler, M., Glynn, L. M., Salisbury, A. L., Davis, E. P., Holliday, C., & Sandman, C. A. (2011). Development of fetal movement between 26 and 36-weeks' gestation in response to vibro-acoustic stimulation. *Frontiers in Psychology*, *2*(DEC), 1–7. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00350

Graven, S. N. (2000). Sound and the developing infant in the NICU: conclusions and recommendations for care. *Journal of Perinatology : Official Journal of the California Perinatal Association*, *20*(8 Pt 2), S88-93. https://doi.org/10.1038/sj.jp.7200444

Grigore, M., Gafitanu, D., Socolov, D., Grigore, A. M., Nemeti, G., & Micu, R. (2018). The role of 4D US in evaluation of fetal movements and facial expressions and their relationship with fetal neurobehaviour. In *Medical Ultrasonography* (Vol. 20, Issue 1, pp. 88–94). Societatea Romana de Ultrasonografie in Medicina si Biologie. https://doi.org/10.11152/mu-1350

Guan, J., Mao, C., Feng, X., Zhang, H., Xu, F., Geng, C., Zhu, L., Wang, A., Xu, Z., & Xu, : Z. (2008). Fetal development of regulatory mechanisms for body fluid homeostasis. In *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* (Vol. 41, Issue 6). Retrieved from www.bjournal.com.br

Hall, J. E., Guyton, A. C., & Hall, M. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14ª). Elsevier.

Hata, T., Kanenishi, K., Sasaki, M., & Yanagihara, T. (2011). Fetal reflex movement in twin pregnancies late in the first trimester: 4-D sonographic study. *Ultrasound in Medicine & Biology*, *37*(11), 1948–1951. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2011.06.005

Hata, T., Kanenishi, K., Hanaoka, U., Sasaki, M., & Yanagihara, T. (2012). Inter-twin contact in a case of monochorionic diamniotic twins with acrania of one twin fetus at 10-13 weeks' gestation. *Journal of Medical Ultrasonics (2001)*, *39*(1), 45–47. https://doi.org/10.1007/s10396-011-0322-y

Hata, T. (2016). Current status of fetal neurodevelopmental assessment: Four-dimensional ultrasound study. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, *42*(10), 1211–1221. https://doi.org/10.1111/jog.13099

Hata, T., Hanaoka, U., Mostafa AboEllail, M. A., Uematsu, R., Noguchi, J., Kusaka, T., & Kurjak, A. (2016). Is there a sex difference in fetal behavior? A comparison of the KANET test between male and female fetuses. *Journal of Perinatal Medicine*, *44*(5). https://doi.org/10.1515/jpm-2015-0387

Hata, T., Ahmed Mostafa Aboellail, M., Miyake, T., & Kanenishi, K. (2023). Does fetus feel stress or pain on uterine contraction? In *Journal of Perinatal Medicine* (Vol. 51, Issue 5, pp. 716–717). De Gruyter Open Ltd. https://doi.org/10.1515/jpm-2022-0514

Hepper, P. G. (1988). Fetal "soap" addiction. *Lancet (London, England)*, *1*(8598), 1347–1348. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(88)92170-8

Hepper, P. G. (1991). An examination of fetal learning and after birth. *Irish Journal of Psychology*, *12*, 95–107.

Hepper, P. G., Scott D, S. BS. (1993). Newborn and fetal response to maternal voice. *Journal of Repro- Ductive and Infant Psychology*, *11*, 147–153.

Hepper, P. G, & Shahidullah, B. S. (1994). Development of fetal hearing. *Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition*, *71*(2), F81–F87. https://doi.org/10.1136/fn.71.2.F81

Hepper, P. G. (1996). Fetal memory: Does it exist? What does it do? *Acta Paediatrica*, *85*(s416), 16–20. https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1996.tb14272.x

Hepper, P. G. (1997). Fetal habituation: another Pandora's box? *Developmental Medicine and Child Neurology*, *39*(4), 274–278. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07426.x

Hepper, P. G., Dornan, J. C., & Lynch, C. (2012). Sex differences in fetal habituation. *Developmental Science*, *15*(3), 373–383. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01132.x

Honemeyer, U., Talic, A., Therwat, A., Paulose, L., & Patidar, R. (2013). The clinical value of KANET in studying fetal neurobehavior in normal and at-risk pregnancies. *Journal of Perinatal Medicine*, *41*(2), 187–197. https://doi.org/10.1515/jpm-2011-0251

Humphrey, T. (1970). The development of human fetal activity and its relation to postnatal behavior. *Advances in Child Development and Behavior*, *5*, 1–57. https://doi.org/10.1016/s0065-2407(08)60464-4

Irvine, D. R. F. (2018). Auditory perceptual learning and changes in the conceptualization of auditory cortex. *Hearing Research*, *366*, 3–16. https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.03.011

Jahn, M., Müller-Mazzotta, J., & Arabin, B. (2016). Music devices for the fetus? An evaluation of pregnancy music belts. *Journal of Perinatal Medicine*, *44*(6), 637–643. https://doi.org/10.1515/jpm-2015-0074

James, D. K., Spencer, C. J., & Stepsis, B. W. (2002). Fetal learning: a prospective randomized controlled study. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, *20*(5), 431–438. https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.2002.00845.x

Jankovic-Raznatovic, S., Dragojevic-Dikic, S., Rakic, S., Nikolic, B., Plesinac, S., Tasic, L., Perisic, Z., Sovilj, M., Adamovic, T., & Koruga, D. (2014). Fetus sound stimulation: Cilia memristor effect of signal transduction. *BioMed Research International*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/273932

Jardri, R., Houfflin-Debarge, V., Delion, P., Pruvo, J. P., Thomas, P., & Pins, D. (2012). Assessing fetal response to maternal speech using a noninvasive functional brain imaging technique. *International Journal of Developmental Neuroscience*, *30*(2), 159–161. https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2011.11.002

Kadic, A., & Kurjak, A. (2018). Cognitive Functions of the Fetus. *Ultraschall in Der Medizin - European Journal of Ultrasound*, *39*(02), 181–189. https://doi.org/10.1055/s-0043-123469

Kafali, H. Y., Biler, E. D., Palamar, M., & Ozbaran, B. (2020). Ocular injuries, attention deficit and hyperactivity disorder, and maternal anxiety/depression levels: Is there a link? *Chinese Journal of Traumatology = Zhonghua Chuang Shang Za Zhi*, *23*(2), 71–77. https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2019.11.008

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., Hudspeth, A. J., & Mack, S. (2014). *Principles of Neural Science* (M. Hill, Ed.; Fifth). McGraw Hill.

Kanenishi, K., Hanaoka, U., Noguchi, J., Marumo, G., & Hata, T. (2013). 4D ultrasound evaluation of fetal facial expressions during the latter stages of the second trimester. *International Journal of Gynecology and Obstetrics*, *121*(3), 257–260. https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2013.01.018

Kisilevsky, Barbara S, Hains, S. M. J., Lee, K., Xie, X., Huang, H., Ye, H. H., Zhang, K., & Wang, Z. (2003). Effects of experience on fetal voice recognition. *Psychological Science*, *14*, 220–224.

Kisilevsky, B.S., Hains, S. M. J., Jacquet, A.-Y., Granier-Deferre, C., & Lecanuet, J. P. (2004). Maturation of fetal responses to music. *Developmental Science*, *7*(5), 550–559. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2004.00379.x

Kisilevsky, B. S., Hains, S. M. J., Brown, C. A., Lee, C. T., Cowperthwaite, B., Stutzman, S. S., Swansburg, M. L., Lee, K., Xie, X., Huang, H., Ye, H. H., Zhang, K., & Wang, Z. (2009). Fetal sensitivity to properties of maternal speech and language. *Infant Behavior and Development*, *32*(1), 59–71. https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2008.10.002

Klimach, V., & Cooke, R. (1988). Maturation of the neonatal somatosensory evoked response in preterm infants. *Dev Med Child Neurol*, *30*, 208–214.

Krueger, C. A (2010). Exposure to Maternal Voice in Preterm Infants. *Advances in Neonatal Care*, *10*(1), 13–18. https://doi.org/10.1097/ANC.0b013e3181cc3c69

Krueger, C. A., Cave, E. C., & Garvan, C. (2015). Fetal response to live and recorded maternal speech. *Biological Research for Nursing*, *17*(1), 112–120. https://doi.org/10.1177/1099800414532308

Krueger, C. A., Parker, L., Chiu, S.-H., & Theriaque, D. (2010). Maternal voice and short-term outcomes in preterm infants. *Developmental Psychobiology*, *52*(2), n/a-n/a. https://doi.org/10.1002/dev.20426

Kurjak, Asim, Miskovic, B., Stanojevic, M., Amiel-Tison, C., Ahmed, B., Azumendi, G., Vasilj, O., Andonotopo, W., Turudic, T., & Salihagic-Kadic, A. (2008). New scoring system for fetal neurobehavior assessed by three- and four-dimensional sonography. *Journal of Perinatal Medicine*, *36*(1), 73–81. https://doi.org/10.1515/JPM.2008.007

Kurjak, Asim, Abo-Yaqoub, S., Stanojevic, M., Yigiter, A. B., Vasilj, O., Lebit, D., Shaddad, A. N., Ahmed, B., Kavak, Z. N., Miskovic, B., Vladareanu, R., Barisic, L. S., Azumendi, G., Younis, M., Pooh, R. K., & Kadic, A. S. (2010). The potential of 4D sonography in the assessment of fetal neurobehavior--multicentric study in high-risk pregnancies. *Journal of Perinatal Medicine*, *38*(1), 77–82. https://doi.org/10.1515/jpm.2010.012

Kurjak, Asim, Stanojević, M., Predojević, M., Laušin, I., & Salihagić-Kadić, A. (2012). Neurobehavior in fetal life. *Seminars in Fetal & Neonatal Medicine*, *17*(6), 319–323. https://doi.org/10.1016/j.siny.2012.06.005

Kurjak, Asim, Antsaklis, P., Stanojevic, M., Vladareanu, R., Vladareanu, S., Neto, R. M., Barisic, L. S., Porovic, S., & Delic, T. (2017). Multicentric studies of the fetal neurobehavior by KANET test. *Journal of Perinatal Medicine*, *45*(6), 717–727. https://doi.org/10.1515/jpm-2016-0409

Lagercrantz, H. (2014). The emergence of consciousness: Science and ethics. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, *19*(5), 300–305. https://doi.org/10.1016/j.siny.2014.08.003

Leader LR, Baillie P, Martin B, V. E. (1982). The assessment and significance of habituation to a repeated stimulus by the human fetus. *Early Hum Dev.*, *7*, 211–219.

Lebit, D. F.-D., & Vladareanu, P. D. R. (2011). The Role of 4D Ultrasound in the Assessment of Fetal Behaviour. *Mædica*, *6*(2), 120–127. Retrieved from http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3239390&tool=pmcentrez&rendertype=abstract

Lecanuet, J. P., Granier-Deferre, C., Cohen, H., Le Houezec, R., & Busnel, M. C. (1986). Fetal responses to acoustic stimulation depend on heart rate variability pattern, stimulus intensity and repetition. *Early Human Development*, *13*(3), 269–283. https://doi.org/10.1016/0378-3782(86)90061-7

Lecanuet, J. P., Graniere-Deferre, C., Jacquet, A. Y., & DeCasper, A. J. (2000). Fetal discrimination of low-pitched musical notes. *Developmental Psychobiology*, *36*(1), 29–39. https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2302(200001)36:1<29::AID-DEV4>3.0.CO;2-J

Lecanuet J.P., Manera S, J. A. (2002). Fetal cardiac responses to maternal sentences, to playback of these sentences, and to their recordings by another woman´s voice. *Paper Presented at the XIII International Conference on Infant Studies Toronto.*

López-Teijón, M., García-Faura, Á., & Prats-Galino, A. (2015). Fetal facial expression in response to intravaginal music emission. *Ultrasound*, *23*(4), 216–223. https://doi.org/10.1177/1742271X15609367

Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current Biology : CB*, *19*(23), 1994–1997. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.09.064

Marín Pérez A, Amor Sánchez B, & Bonacasa B. (2019). *Influencia de la voz materna para la valoración de la actividad fetal. Sentando las bases de un proyecto de investigación* (Editorial Académica Española, Ed.). Editorial Académica Española.

Marx, V., & Nagy, E. (2015). Fetal behavioural responses to maternal voice and touch. *PLoS ONE*, *10*(6), 1–15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129118

Meyer LB. (2001). *Emoción y significado de la música* (ALIANZA EDITORIAL, Ed.). Madrid: ALIANZA EDITORIAL.

Miskovic, B., Vasilj, O., Stanojevic, M., Ivanković, D., Kerner, M., & Tikvica, A. (2010). The comparison of fetal behavior in high risk and normal pregnancies assessed by four dimensional ultrasound. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, *23*(12), 1461–1467. https://doi.org/10.3109/14767051003678200

Moon, C. (2011). The Role of Early Auditory Development in Attachment and Communication. *Clinics in Perinatology*, *38*(4), 657–669. https://doi.org/10.1016/j.clp.2011.08.009

Moon, C., Lagercrantz, H., & Kuhl, P. K. (2013). Language experienced in utero affects vowel perception after birth: a two-country study. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway : 1992)*, *102*(2), 156–160. https://doi.org/10.1111/apa.12098

Moon, C. M., & Fifer, W. P. (2000). Evidence of Transnatal Auditory Learning. *Journal of Perinatology*, *20*(S1), S37–S44. https://doi.org/10.1038/sj.jp.7200448

Morlet, A. Lapillonne, C. F. et al. (1995). Spontaneous oto- acoustic emissions in preterm neonates – prevalence and gen- der effects. *HearingResearch*, *90*(1–2), 44–54.

Myowa-Yamakoshi, M., & Takeshita, H. (2006). Do Human Fetuses Anticipate Self-Oriented Actions? A Study by Four-Dimensional (4D) Ultrasonography. *Infancy*, *10*(3), 289–301. https://doi.org/10.1207/s15327078in1003_5

Nagy, E., Thompson, P., Mayor, L., & Doughty, H. (2021). Do foetuses communicate? Foetal responses to interactive versus non-interactive maternal voice and touch: An exploratory analysis. *Infant Behavior and Development*, *63*(March), 101562. https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2021.101562

Ogo, K., Kanenishi, K., Mori, N., Aboellail, M. A. M., & Hata, T. (2019). Change in fetal behavior in response to vibroacoustic stimulation. *Journal of Perinatal Medicine*, *47*(5), 558–563. https://doi.org/10.1515/jpm-2018-0344

Partanen, E., Kujala, T., Tervaniemi, M., & Huotilainen, M. (2013). Prenatal Music Exposure Induces Long-Term Neural Effects. *PLoS ONE*, *8*(10), e78946. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078946

Patel, A.D. (2008). *Music, Language and the Brain* (Ed. University Press., Ed.). Oxford: Ed. University Press.

Patel, A. D. (2021). Vocal learning as a preadaptation for the evolution of human beat perception and synchronization. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *376*(1835), 20200326. https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0326

Peiper, A. (1925). Sinnesempfindungen des Kindes vor seiner Geburt. *Monatsschrift Für Kinderheilkunde*, *29*, 237–241.

Peña, J. L., Cazettes, F., Beckert, M. V, & Fischer, B. J. (2019). Synthesis of Hemispheric ITD Tuning from the Readout of a Neural Map: Commonalities of Proposed Coding Schemes in Birds and Mammals. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *39*(46), 9053–9061. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0873-19.2019

Persico, G., Antolini, L., Vergani, P., Costantini, W., Nardi, M. T., & Bellotti, L. (2017). Maternal singing of lullabies during pregnancy and after birth: Effects on mother–infant bonding and on newborns' behaviour. Concurrent Cohort Study. *Women and Birth*, *30*(4), e214–e220. https://doi.org/10.1016/j.wombi.2017.01.007

Petrikovsky, B. M. (1993). The effect of fetal acoustic stimulation on fetal swallowing and amniotic fluid index. *Obstetrics & Gynecology*, *81*, 548–550.

Petrikovsky, B. M., Kaplan, G., & Holsten, N. (1999). Fetal yawning activity in normal and high-risk fetuses: A preliminary observation. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, *13*(2), 127–130. https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.1999.13020127.x

Petrikovsky, B. M., Kaplan, G., & Holsten, N. (2003). Eyelid movements in normal human fetuses. *Journal of Clinical Ultrasound*, *31*(6), 299–301. https://doi.org/10.1002/jcu.10173

Plesinac, S., Jankovic, S., Plecas, D., Antonovic, O., Adamovic, T., & Sovilj, M. (2014). Change of Pulsatility Index of the Fetal Middle Cerebral Artery after Auditory Stimulation in No Risk Pregnancies and in Pregnancies with Gestational Hypertension. *Clinical and Experimental Hypertension, 35*(November 2012), 628–631. https://doi.org/10.3109/10641963.2013.776571

Provasi, J, Anderson, I., & Barbu-Roth, M. (2014). Rhythm perception, production, and synchronization during the perinatal period. *Frontiers in Psychology*, *5*(SEP), 1–16. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01048

Purves, D. (2012). *Neuroscience* (Médica Panamericana, Ed.). Madrid.

Querleu, D., Renard, X., Versyp, F., Paris-Delrue, L., & Vervoort, P. (1988). Intra-amniotic transmission of the human voice. *Rev Fr Gynecol Obstet .*, *83*(1), 43–50.

Ray, B., Roy, T. S., Wadhwa, S., & Roy, K. K. (2005). Development of the human fetal cochlear nerve: a morphometric study. *Hearing Research*, *202*(1–2), 74–86. https://doi.org/10.1016/j.heares.2004.09.013

Reissland, N., Shepherd, J., & Herrera, E. (2003). The pitch of maternal voice: A comparison of mothers suffering from depressed mood and non-depressed mothers reading books to their infants. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *44*(2), 255–261. https://doi.org/10.1111/1469-7610.00118

Reissland, N., Francis, B., & Mason, J. (2013). Can healthy fetuses show facial expressions of “pain” or “distress”? *PloS One*, *8*(6), e65530. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065530

Reissland, N., Francis, B., & Buttanshaw, L. (2016a). The Fetal Observable Movement System (FOMS). *In Fetal Development* (pp. 153–176). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22023-9_9

Reissland, N., Francis, B., Buttanshaw, L., Austen, J. M., & Reid, V. (2016b). Do fetuses move their lips to the sound that they hear? An observational feasibility study on auditory stimulation in the womb. *Pilot and Feasibility Studies*, *2*(1), 1–7. https://doi.org/10.1186/s40814-016-0053-3

Reissland, N., Froggatt, S., Reames, E., & Girkin, J. (2018). Effects of maternal anxiety and depression on fetal neuro-development. *Journal of Affective Disorders*, *241*, 469–474. https://doi.org/10.1016/j.jad.2018.08.047

Ruan, Z.-L., Liu, L., Strodl, E., Fan, L.-J., Yin, X.-N., Wen, G.-M., Sun, D.-L., Xian, D.-X., Jiang, H., Jing, J., Jin, Y., Wu, C.-A., & Chen, W.-Q. (2017). Antenatal Training with Music and Maternal Talk Concurrently May Reduce Autistic-Like Behaviors at around 3 Years of Age. *Frontiers in Psychiatry*, *8*, 305. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2017.00305

Sadler, T. W. (2019). *Langman’s medical embryology* (Wolters Kluwer., Ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer.

Sanyal, T., Kumar, V., Nag, T. C., Jain, S., Sreenivas, V., & Wadhwa, S. (2013). Prenatal Loud Music and Noise: Differential Impact on Physiological Arousal, Hippocampal Synaptogenesis and Spatial Behavior in One Day-Old Chicks. *PLoS ONE*, *8*(7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067347

Sasaki, M., Yanagihara, T., Naitoh, N., & Hata, T. (2010). Four-dimensional sonographic assessment of inter-twin contact late in the first trimester. *International Journal of Gynaecology and Obstetrics: The Official Organ of the International Federation of Gynaecology and Obstetrics*, *108*(2), 104–107. https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2009.09.025

Schoenberg A. (1993). *Fundamentos de la composición musical* (Carisch-Real Musical, Ed.; 1st ed.). Carisch-Real Musical.

Shahidullah, Sara, & Hepper, P. G. (1994). Frequency discrimination by the fetus. *Early Human Development*, *36*(1), 13–26. https://doi.org/10.1016/0378-3782(94)90029-9

Silverthorn, D.U. et al. (2019) *Fisiología Humana: Un Enfoque integrado*. México, D. F: Panamericana.

Simavli, S., Gumus, I., Kaygusuz, I., Yildirim, M., Usluogullari, B., & Kafali, H. (2014). Effect of music on labor pain relief, anxiety level and postpartum analgesic requirement: a randomized controlled clinical trial. *Gynecologic and Obstetric Investigation*, *78*(4), 244–250. https://doi.org/10.1159/000365085

Stanojevic, M., Hafner, T., & Kurjak, A. (2002). Three-dimensional ultrasound - a useful imaging technique in the assessment of neonatal brain. *Journal of Perinatal Medicine*, *30*(1), 74–83. https://doi.org/10.1515/JPM.2002.010

Teie, D. (2016). A Comparative Analysis of the Universal Elements of Music and the Fetal Environment. *Frontiers in psychology*, *7*, 1158. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01158

Thompson RF, S. W. (1966). Habituation: a model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. *Psychol Rev.*, *73*(1), 16–43.

Tomatis, A. (1990). *L'oreille et la vie*. In R. Laffont & Ed) (Eds.), ROBERT LAFFON.

Trevarthen, C. (2000). Autism as a neurodevelopmental disorder affecting communication and learning in early childhood: prenatal origins, post-natal course and effective educational support. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)*, *63*(1–2), 41–46. https://doi.org/10.1054/plef.2000.0190

Van Heteren CF, Boekkooi PF, Jongsma HW, N. JG. (2000). Fetal learning and memory. *Lancet*, *356*(9236), 1169–1170.

Vasileiadis, G. T. (2007). Neonatal brain volumetric studies: regression analysis and interpretation. *Pediatrics*, *119*(6), 1251–1252; author reply 1252-3. https://doi.org/10.1542/peds.2007-0364

Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam Med*, *37*(5), 360–363.

Voegtline, K., Kathleen A. Costigan, Heather A. Pater, and J. A. D. (2013). Near-term fetal response to maternal spoken voice. *Infant Behav Dev*, *36*(4), 1–18. https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2013.05.002.Near-term

Walusinski, O. (2010). Fetal Yawning. In *Front Neurol Neurosci.* Basel, Karger (Vol. 28). Retrieved from http://karger.com/books/book/chapter-pdf/2100630/000307075.pdf

Webb, A. R., Heller, H. T., Benson, C. B., & Lahav, A. (2015). Mother's voice and heartbeat sounds elicit auditory plasticity in the human brain before full gestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*(10), 3152–3157. https://doi.org/10.1073/pnas.1414924112

Williamson, T. (2000). *Knowledge and its Limits*. Oxford: Oxford University Press. .

Wright, J. (2023). Maternal-Fetal Bonding. *Issues in Law & Medicine*, *38*(2), 166–174.

Yu, J., Amores, J., Sebe, N., & Tian, Q. (2006). A New Study on Distance Metrics as Similarity Measurement. *2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 533–536. https://doi.org/10.1109/ICME.2006.262443

Zoia, S., Blason, L., D'Ottavio, G., Bulgheroni, M., Pezzetta, E., Scabar, A., & Castiello, U. (2007). Evidence of early development of action planning in the human foetus: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, *176*(2), 217–226. https://doi.org/10.1007/s00221-006-0607-3

9. Anexos

9.1. ANEXO 1: APROBACIÓN DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN DEL HOSPITAL CLÍNICO UNIVERSITARIO VIRGEN DE LA ARRIXACA.

Servicio Murciano de Salud

Arrixaca
Hospital Universitario "Virgen de la Arrixaca"
Ctra. Madrid - Cartagena • Telf. 968 36 95 00
30120 El Palmar (Murcia)

Dr. D. Antonio Piñero Madrona
Presidente del CEIC Hospital Virgen de la Arrixaca

CERTIFICA

Que el CEIC Hospital Virgen de la Arrixaca en su reunión del día 26/09/2016, acta CEIC ha evaluado la propuesta de la investigadora **Dra. Barbara Bonacasa Fernández** referida al estudio:

Título: Estudio de la respuesta fetal a elementos musicales de la voz materna

Código Interno: 2016-4-11-HCUVA

1º. Considera que

- Se respetan los principios éticos básicos y su realización es pertinente.
- Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- Se cumplen los requisitos de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- La capacidad de la investigadora **Dra. Barbara Bonacasa Fernández** y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio

2º. Por lo que este CEIC emite un **DICTAMEN FAVORABLE**.

Lo que firmo en Murcia, a 26 de septiembre de 2016

Fdo:

Servicio Murciano de Salud
Hospital "Virgen de la Arrixaca"
Comite Etico de Investigación Clínica
MURCIA

Dr. D. Antonio Piñero Madrona
Presidente del CEIC Hospital Virgen de la Arrixaca

Mod. 141

9.2. ANEXO 2: CONSENTIMIENTO INFORMADO.

HOJA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTANTE

ESTUDIO DE LA RESPUESTA FETAL A ELEMENTOS MUSICALES DE LA VOZ MATERNA

Nos gustaría invitarla a participar en este estudio. Nuestra intención es tan solo que usted reciba la información correcta y suficiente para que pueda evaluar y juzgar si quiere o no participar. Para ello lea esta hoja informativa con atención y nosotros le aclararemos las dudas que le puedan surgir después de la explicación.

¿Cuál es la finalidad de este estudio?

Nuestro estudio pretende esclarecer si el bebé puede reconocer en la música rasgos característicos de la voz materna, tales como el timbre, cadencia rítmica o curva melódica.

Nos proponemos estudiar si a partir de variables maternas como el ritmo cardiaco y la voz se pueden diseñar composiciones musicales a medida con potenciales fines terapéuticos.

¿Por qué la hemos invitado?

El motivo de dicha invitación es que usted está embarazada y su gestación está transcurriendo con normalidad.

¿Tengo que formar parte del estudio?

Depende de usted, si quiere o no. Si desea participar, se le dará esta hoja de información y un consentimiento informado para que lo firme.

¿Qué pasa si participo en el estudio?

Se le realizará una grabación de su voz para poder sacar las características musicales que tiene.

Se le realizarán dos ecografías 3D/4D: la primera el día de la grabación de su voz. La segunda se realizará una vez analizada y realizadas composiciones musicales a partir de ella. Durante esta segunda ecografía, se reproducirá esta música para analizar la posible respuesta de su bebé. El volumen de las reproducciones estarán por debajo de las intensidades dañinas.

En todo momento estará informada del proceso.

¿Puede haber algún problema médico por participar en este proyecto?

Ninguna determinación que realicemos será dañina para usted o su bebé.

¿Cuáles son las posibles desventajas o beneficios si forma parte del estudio?

No hay desventajas o riesgos al formar parte de este estudio. Los dos dispositivos musicales que usaremos están testados para su uso en embarazadas.

Esperamos que se beneficie. Los resultados del estudio nos ayudarán a profundizar en el conocimiento del desarrollo fetal, el vínculo materno-filial y la comprensión de los rasgos de la música que pueden llegar a emocionarnos. Además, se le realizarán 2 ecografías 3D/4D y se le entregarán las composiciones musicales realizadas a partir de su voz.

¿Qué pasa si hay algún problema?

Ante cualquier queja que tenga al respecto, los responsables del estudio serán debidamente informados. Cualquier duda que tenga respecto a este estudio, pregunte a los responsables del mismo.

¿Será confidencial la participación en el estudio?

El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes se ajustará a lo dispuesto en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre de protección de datos de carácter personal. De acuerdo a lo que establece la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación de datos, para lo cual debe dirigirse a los médicos responsables del estudio.

Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código y sólo los médicos responsables y colaboradores podrán relacionar dichos datos con usted y con su historia clínica. Por lo tanto, su identidad no será revelada a persona alguna salvo excepciones, en caso de urgencia médica o requerimiento legal.

Sólo se transmitirán a terceros y a otros países los datos recogidos para el estudio que en ningún caso contendrán información que le pueda identificar directamente, como nombre y apellidos, iniciales, dirección, nº de la seguridad social, etc. En el caso de que se produzca esta cesión, será para los mismos fines del estudio descrito y garantizando la confidencialidad como mínimo con el nivel de protección de la legislación vigente en nuestro país.

El acceso a su información personal quedará restringido al médico del estudio/colaboradores, autoridades sanitarias (Agencia Española del Medicamento y Productos Sanitarios), al Comité Ético de Investigación Clínica y personal autorizado por el promotor, cuando lo precisen para comprobar los datos y procedimientos del estudio, pero siempre manteniendo la confidencialidad de los mismos de acuerdo a la legislación vigente.

¿Qué pasará con los resultados del estudio?

Tras el análisis de toda la información, sacaremos conclusiones que serán publicadas en revistas científicas. Sus datos personales no serán identificados en ningún caso.

¿Quién organiza este estudio?

El estudio será dirigido conjuntamente por la Unidad de Medicina Fetal de la Región de Murcia (ubicada en el Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca) y el Departamento de Fisiología Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad de Murcia.

¿Quién ha revisado el estudio?

Todos los estudios en la Sanidad Pública son revisados por grupos independientes, llamados Comité de Ética y Ensayos Clínicos. Este proyecto ha sido revisado y aprobado por nuestro Comité de Investigación.

Datos de los investigadores personales.

Si necesita más información o quiere discutir algún aspecto, no dude en contactar con nosotros.

Prof. Bárbara Bonacasa Fernández Telf.: 968 88 5066
Dr. Juan Luis Delgado Marín Tel: 968 39 5588

Gracias por formar parte de este proyecto. Le daremos una copia de toda esta información y una copia del consentimiento informado para que lo guarde.

Número del centro:
Número del estudio:
Número de identificación de la paciente en este estudio:
Nombre del investigador: **Bárbara Bonacasa Fernández**
Juan Luis Delgado Marín

Por favor, ponga una X en el recuadro si está de acuerdo:

1.	**Confirmo que he leído y entendido la hoja de información sobre este estudio. He tenido la oportunidad de considerar esta información, preguntar las dudas y he obtenido respuestas satisfactorias.**	☐
2.	**Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre para salir del estudio cuando yo lo desee, sin que mi cuidado médico sea afectado por ello.**	☐
3.	**Entiendo que los aspectos importantes de mi historial médico recogido durante el estudio pueden ser evaluados por los investigadores o por el Sistema Sanitario Público, siempre y cuando sea preciso o importante para la investigación. Doy permiso para acceder a mi historia clínica con este fin si es preciso.**	☐
4.	**Estoy de acuerdo de que mi ginecólogo, matrona o médico de familia sepan de mi participación en el estudio.**	☐
5.	**Estoy de acuerdo en participar en el estudio arriba descrito.**	☐

_____ _____	_____	_____
Nombre de la paciente	Fecha	Firma
JUAN LUIS DELGADO MARÍN	__ _____	_____
Nombre del medico que da el consentimiento	Fecha	Firma

9.3. ANEXO 3: TEXTOS DE LECTURA.

- **Enunciativas**
  - **Afirmativas**:
    - María es morena
    - Son las cinco
    - Está lloviendo
    - Me llamo Rogelio
    - La sopa está sobre la mesa
    - Este año se cumple una década de la creación de la empresa
    - El vino se obtiene de la uva
    - Los triángulos tienen 3 lados
    - México limita con los Estados Unidos
    - En el Polo Norte hace frío
    - Ya ha salido el nuevo número de la revista
  - **Negativas:**
    - María no es rubia
    - Esa tienda no abre los domingos
    - No han publicado todavía su novela
    - Ese reloj no ha sonado
    - Nunca han cambiado la decoración de esas paredes
    - José tampoco ha venido
    - Nadie nos ha pedido consejo
    - Todavía no llueve
    - Aún no ha puesto la sopa sobre la mesa
    - El aceite no se obtiene de la uva
    - Ningún camión de nuestra flota es de 50 toneladas

- **Frases exhortativas:**
  - ¡Lava los platos! (expresa una orden)
  - Por favor, siéntate (ruego)
  - Javier, dame ese libro (petición)
  - Escuche esta noticia (consejo)
  - ¡No hagas ningún ruido! (negativa o prohibición)
  - Mami, cómprame un helado (petición)
  - Haga primero las tareas

- **Frases Exclamativas:**
    - ¡Qué frío hace hoy!
    - ¡Ah, conque no te gusta hacer nada!
    - ¡Eres un holgazan de primera!
    - ¡Ya me imagino a tus padres!
    - ¡Levántate de donde estás y ponte a hacer algo!
    - ¡No te quedes ahí!
- ¡Qué mal me siento!
    - ¡Qué sorpresa verte por aquí!
    - ¡Te quiero mamá!
    - ¡Qué tristeza tan grande!

- **Frases Interrogativas:**
    - **Interrogativas Totales**: solicitan una respuesta categórica (sí o no):
        - ¿Compró Juan algún libro?
        - ¿Has aprobado el examen?
    - **Interrogativas Parciales:** solicitan información detallada (no categórica):
        - ¿Qué libro compró Juan?
        - ¿Qué pone en ese letrero?
    - **Interrogativas Directas**: la oración principal es interrogativa:
        - ¿Quién viene?
        - ¿Dónde está?
    - **Interrogativas Indirectas**: la oración subordinada es interrogativa:
        - Dime quién viene.
        - Facilítame la dirección en dónde está

- **Frases Dubitativas.**
    - Quizás resuelva el problema
    - Tal vez conozcas la solución a este problema
    - Probablemente se ponga a llover

- Seguramente nos vayamos de vacaciones a Brasil
- Lo lograremos sin duda
- Mañana puede llover
- Puede ser cierto lo que dices
- A lo mejor mi madre me compra un regalo

9.4. ANEXO 4: ESTÍMULO ORIGINAL.

_____cuanto lo quiere su mamá eres la cosita más bonita y más preciosa de este mundo con esa carita tan bonita que tú tienes ¿dónde vas? mamá y papá tienen ya muchas ganitas de abrazar a su bebé lo más tierno y lo más dulce que uno puede imaginar.

9.5. ANEXO 5: NOMENCLATURA DE LOS ESTÍMULOS.

NOMENCLATURA PARA LA CREACIÓN DE LOS ESTÍMULOS

	REFERENCIA (300 seg.)			**ORDEN (300 seg.)**			**CAOS (300 seg.)**		
	Variedad Tímbrica-Rítmica-Melódica-Dinámica			**Repetición** Tímbrica-Rítmica-Melódica-Dinámica			**Aleatoriedad** Tímbrica-Rítmica-Melódica-Dinámica		
	Lento (100 seg.)	Normal (100 seg.)	Rápido (100 seg.)	Lento (100 seg.)	Normal (100 seg.)	Rápido (100 seg.)	Lento (100 seg.)	Normal (100 seg.)	Rápido (100 seg.)
VOZ MATERNA ORIGINAL (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**A** (6A_RL)	A (11A_RN)	A (16A_RR)	A (21A_OL)	A (26A_ON)	A (31A_OR)	A (36A_CL)	A (41A_CN)	A (46A_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S6**	**S11**	**S16**	**S21**	**S26**	**S31**	**S36**	**S41**	**S46**
Voz materna con MELODÍA MODIFICADA (variedad rítmica) (10 seg.)	**B** (7B_RL)	B (12B_RN)	B (17B_RR)	B (22B_OL)	B (27B_ON)	B (32B_OR)	B (37B_CL)	B (42B_CN)	B (47B_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S7**	**S12**	**S17**	**S22**	**S27**	**S32**	**S37**	**S42**	**S47**
ARMONÍA (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**C** (8C_RL)	C (13C_RN)	C (18C_RR)	C (23C_OL)	C (28C_ON)	C (33C_OR)	C (38C_CL)	C (43C_CN)	C (48C_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S8**	**S13**	**S18**	**S23**	**S28**	**S33**	**S38**	**S43**	**S48**
Voz materna con DINÁMICAS MODIFICADAS (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**D** (9D_RL)	D (14D_RN)	D (19D_RR)	D (24D_OL)	D (29D_ON)	D (34D_OR)	D (39D_CL)	D (44D_CN)	D (49D_CR)
Silencio **(10 seg.)**	**S9**	**S14**	**S19**	**S24**	**S29**	**S34**	**S39**	**S44**	**S49**
Voz materna con TIMBRE MODIFICADO (variedad rítmico melódica) (10 seg.)	**E** (10E_RL)	E (15E_RN)	E (20E_RR)	E (25E_OL)	E (30E_ON)	E (35E_OR)	E (40E_CL)	E (45E_CN)	E (50E_CR)
Silencio	**S10**	**S15**	**S20**	**S25**	**S30**	**S35**	**S40**	**S45**	**S50**

DESCRIPCIÓN DE LOS ESTÍMULOS

Todos los estímulos se han elaborado con el material sonoro de un único estímulo de origen (EO). La totalidad de los estímulos son una variación de EO. A continuación, haremos una descripción pormenorizada de los estímulos que se han elaborado:

ESTÍMULO DE ORÍGEN
EO
Este estímulo consiste en una grabación de la voz materna con ritmo y melodía regular e intervalos pequeños. Este estímulo estará constituido por un texto afectuoso de unos 15 segundos de duración que se proporcionará a la gestante en el momento de su selección. De este modo, y suponiendo que tal estímulo haya sido asimilado como referencia por el feto, podremos observar la activación o no del movimiento frente a cambios de determinadas variables respecto del original. Este estímulo es el más extenso dado que el aumento de velocidad que se llevará a cabo con los del grupo R hace necesaria su compresión. En otras palabras, la grabación del EO puede durar 15 segundos que se convertirán en 10 tras el aumento de la velocidad en los estímulos del grupo R. El resto de los estímulos son una variación de aquél, tal y como describimos más pormenorizadamente a continuación.

REFERENCIA														
Voz materna original 11A_RN			Melodía modificada 12B_RN			Armonía 13C_RN			Dinámica modificada 14D_RN			Timbre modificado 15E_RN		
6	11	16	7	12	17	8	13	18	9	14	19	10	15	20
Este estímulo (11) consiste en una grabación de la voz materna original (un fragmento de EO) con velocidad de reproducción normal (N). Se seleccionará un fragmento cuya melodía contenga intervalos pequeños.			Este estímulo (12) consiste en una variación del 11 con velocidad de reproducción normal (N). Esta variación consiste en modificar su curva melódica mediante intervalos grandes (sumando o restando intervalos de 3ªM a las notas según el giro melódico. Se sumará si el giro es ascendente y se restará si es descendente) pero respetando los giros y la estructura rítmica de la prosodia.			Este estímulo (13) consiste en una variación del 11 con velocidad de reproducción normal (N). Esta variación consiste en modificar su monofónica mediante la introducción de un acorde pedal perfecto mayor construido mediante el EO. Este acorde pedal se elaborará mediante la creación de tres pistas de EO que se reproducirán de forma asíncrona al 13, modificando en cada uno la altura de las sílabas para dejarlos con entonación plana, para posteriormente ajustar sus alturas para producir una triada perfecta mayor. Se ha escogido este tipo de acorde por estar constituido por los primeros armónicos naturales.			Este estímulo (14) consiste en una variación del 11 con velocidad de reproducción normal (N). Esta variación consiste en modificar su estructura dinámica mediante un cambio súbito a una mayor intensidad. Se hará modificando la ganancia de la pista global al nivel 15 siendo 0 la intensidad normal y 30 el máximo.			Este estímulo (15) consiste en una variación del 11 con velocidad de reproducción normal (N). Esta variación consiste en modificar su cualidad tímbrica modificando los formantes con el Flex Pitch. Se ajustarán a un nivel 300 sobre 0.		

ORDEN														
Voz materna original 26A_ON			Melodía modificada 27A_ON			Armonía 28A_ON			Dinámica modificada 29A_ON			Timbre modificado 30A_ON		
21	26	31	22	27	32	23	28	33	24	29	34	25	30	35
Este estímulo (26) consiste en la repetición durante 10 segundos de un fragmento extraído del 11 (de su comienzo). Tiene que ser suficientemente corto como para que se pueda repetir varias veces en lo que dura el estímulo. Se generará así una tendencia predecible.			Este estímulo (27) consiste en la repetición durante 10 segundos de un fragmento extraído del 12 (de su comienzo). Tiene que ser suficientemente corto como para que se pueda repetir varias veces en lo que dura el estímulo. Se generará así una tendencia predecible.			Este estímulo (28) consiste en la repetición durante 10 segundos de un fragmento extraído del 13 (de su comienzo). Tiene que ser suficientemente corto como para que se pueda repetir varias veces en lo que dura el estímulo. Se realizará con el mismo procedimiento que el estímulo 13, aunque se introducirán cambios armónicos mediante la alternancia de acordes de Dominante (disonancia) y Tónica (consonancia). Se generará así una tendencia predecible.			Este estímulo (29) consiste en la repetición durante 10 segundos de un fragmento extraído del 14 (de su comienzo). Tiene que ser suficientemente corto como para que se pueda repetir varias veces en lo que dura el estímulo. Se subirá la ganancia hasta un nivel de 15 sobre 0 de sílabas separadas por intervalos de tiempo iguales, para producir un pulso dinámico. Se generará así una tendencia predecible.			Este estímulo (30) consiste en la repetición durante 10 segundos de un fragmento extraído del 15 (de su comienzo). Tiene que ser suficientemente corto como para que se pueda repetir varias veces en lo que dura el estímulo.		

CAOS															
Voz materna original 41A_CN			Melodía modificada 42A_CN			Armonía 43A_CN			Dinámica modificada 44A_CN			Timbre modificado 45A_CN			
36	41	46	37	42	47	38	43	48	39	44	49	40	45	50	
Consiste en desorganización aleatoria de las variables melodía y ritmo del estímulo 11 mediante cambios impredecibles de altura, ritmo y timbre.			Consiste en la desorganización aleatoria de la variable melodía del estímulo 11, mediante cambios impredecibles de altura y manteniendo el timbre y la estructura rítmica.			Consiste en la desorganización aleatoria de la variable armonía del estímulo 11 mediante cambios impredecibles de las relaciones entre sonidos que suenan simultáneamente. El procedimiento será el mismo que el del estímulo 13.			Consiste en la desorganización aleatoria de la variable dinámica del estímulo 11 mediante cambios súbitos de intensidad no periódicos y, por tanto, impredecibles. Se mantienen la estructura rítmico-melódica de la prosodia y el timbre.			Consiste en la desorganización aleatoria de la variable timbre del estímulo 11, mediante cambios súbitos e impredecibles de esta cualidad sonora con el mismo procedimiento que se llevó a cabo en el estímulo nº15. Se mantiene la estructura rítmico-melódica de la prosodia.		

9.6. ANEXO 6: CREACIÓN DE LOS ESTÍMULOS.

1.- Preparación de los estímulos polifónicos (armonía). estos estímulos requieren una preparación especial dada su complejidad por lo que se han creado unas mesas de trabajo independientes para su elaboración.

	MESA DE TRABAJO	METODOLOGÍA
REFERENCIA	10_MESA POLIFÓNICA (18C_RR)	Importar EO (15 seg.). Recortar EO por frases. Copiar pista 0 en pistas 1, 2, 3 y 4. Elaborar armonización modificando alturas de las pistas 1, 2, 3 y 4 de manera que se cree una textura sonora de mixtura formando acordes perfectos mayores (aportando variedad pues todas las pistas aun estando a diferentes alturas, mantienen el timbre, estructura melódica y rítmica). Copiar las pistas en las MESAS 11, 12, 16, 17 y 18. Cambiar tempo a 90 pul./min. Exportar.
	11_MESA POLIFÓNICA (13C_RN)	Recortar los 10 primeros segundos y desechar los 5 restantes. Mantener tempo a 60 pul./min. Copiar pistas en MESAS 13, 14 y 15. Exportar.
	12_MESA POLIFÓNICA (8C_RL)	Recortar los 5 primeros segundos y desechar los 10 restantes. Cambiar tempo a 30 pul./min. Exportar.
ORDEN	13_MESA POLIFÓNICA (33C_OR)	Partimos de 13C_RN (10 seg. a velocidad prosodia normal). En estos estímulos la variable velocidad se aplicará a los cambios armónicos y no al tempo de la prosodia. Elaborar armonización modificando alturas de las pistas 1, 2, 3 y 4 creando cambios armónicos con acordes mayores de Dominante y Tónica (cambios frecuentes, rápidos) Mantener tempo a 60 pul./min. Exportar.
	14_MESA POLIFÓNICA (28C_ON)	Partimos de 13C_RN (10 seg. a velocidad prosodia normal). Elaborar armonización modificando alturas de las pistas 1, 2, 3 y 4 creando cambios armónicos con acordes mayores de Dominante y Tónica (a velocidad normal). Mantener tempo a 60 pul./min. Exportar.
	15_MESA POLIFÓNICA (23C_OL)	Partimos de 13C_RN (10 seg. a velocidad prosodia normal). Elaborar armonización de esos dos seg. modificando alturas de las pistas 1, 2, 3 y 4 creando cambios armónicos con acordes mayores de Dominante y Tónica (cambios lentos).

		Mantener tempo a 60 pul./min. Exportar.
CAOS	16_MESA POLIFÓNICA (48C_CR)	Partimos de 13C_RN (10 seg. a velocidad prosodia normal). En estos estímulos la variable velocidad se aplicará a los cambios armónicos y no al tempo de la prosodia. Elaborar armonización modificando alturas de las pistas 1, 2, 3 y 4 creando acordes con relaciones aleatorias entre sonidos (cambios frecuentes, rápidos). Mantener tempo a 60 pul./min. Exportar.
	17_MESA POLIFÓNICA (43C_CN)	Partimos de 13C_RN (10 seg. a velocidad prosodia normal). En estos estímulos la variable velocidad se aplicará a los cambios armónicos y no al tempo de la prosodia. Elaborar armonización modificando alturas de las pistas 1, 2, 3 y 4 creando acordes con relaciones aleatorias entre sonidos (cambios a una velocidad normal). Mantener tempo a 60 pul./min. Exportar.
	18_MESA POLIFÓNICA (38C_CL)	Partimos de 13C_RN (10 seg. a velocidad prosodia normal). En estos estímulos la variable velocidad se aplicará a los cambios armónicos y no al tempo de la prosodia. Elaborar armonización de esos dos seg. modificando alturas de las pistas 1, 2, 3 y 4 creando acordes con relaciones aleatorias entre sonidos (cambios a una velocidad lenta). Mantener tempo a 60 pul./min. Exportar.

2.- Elaboración de los estímulos por mesas de trabajo:

En cada mesa de trabajo se elaborará la batería de estímulos correspondiente a las variables R, N y L (velocidad de reproducción

	MESA DE TRABAJO	EST.	Nº	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
R	1_MESA	A	16	1. EO 15 segundos.	1. Primero se elaborarán los estímulos con velocidad de reproducción rápida. 2. Antes de modificar el tempo como indicaremos en el paso siguiente, se exportarán a las MESAS 4 y 7. 3. Tras finalizar la elaboración de los estímulos de esta mesa, se exportará el audio con un metrónomo de 90 pul./seg. para transformar la duración del original (15 seg.) en los 10 que durará esta tanda de estímulos. 4. De forma previa se cuantizará el tono de todos los estímulos. 5. Se dejarán espacios de silencio de 15 seg. entre cada estímulo incluyendo uno al final.
		B	17	1. EO 15 segundos. 2. Dejando intacta la frecuencia en Hz de la primera sílaba, modificar el resto subiendo o bajando un intervalo de 3ªm, pero respetando los giros melódicos de la prosodia.	
		C	18	1. Importar estímulo 18C_RR de la mesa 10.	
		D	19	1. Subir la ganancia de todo el estímulo hasta un nivel de 15, siendo 0 el nivel normal y 30 el máximo.	
		E	20	1. Subir el valor de los formantes hasta un nivel de 300, o superior para modificar el timbre de tal modo que no se identifique la voz materna original.	

	2_MESA	A	31	1. Importar estímulo 16A_RR desde la MESA 1. 2. Recortar la primera frase y crear un bucle hasta completar los 15 seg.	1. Antes de cambiar el tempo, se exportarán a las MESAS 5 y 8. 2. Tras finalizar la elaboración de los estímulos de esta mesa, se exportará el audio con un metrónomo de 90 pul./seg. para transformar la duración del original (15 seg.) en los 10 que durará esta tanda de estímulos.
		B	32	1. Importar estímulo 17A_RR desde la MESA 1. 2. Recortar la primera frase y crear un bucle hasta completar los 15 seg.	
		C	33	1. Importar estímulo 33C_OR desde la MESA 11. 2. Recortar la primera frase y crear un bucle hasta completar los 15 seg.	
		D	34	1. Importar estímulo 19A_RR desde la MESA 1. 2. Recortar la primera frase y crear un bucle hasta completar los 15 seg.	
		E	35	1. Importar estímulo 20A_RR desde la MESA 1. 2. Recortar la primera frase y crear un bucle hasta completar los 15 seg.	

	3_MESA	A	46	1. Importar EO, 15 seg. para realizar una variación melódico rítmica. 2. Modificar de forma arbitraria la entonación prosódica. 3. Copiar el resultado de esta variación melódica en el siguiente estímulo (47) antes de modificar la estructura rítmica. 4. Recortar sílabas y/o palabras para cambiar su estructura rítmica, haciéndola impredecible. También se podría hacer modificando el metrónomo por secciones aleatorias durante el transcurso de este estímulo.	1. Antes de cambiar el tempo, se exportarán a las MESAS 6 y 9. 2. Tras finalizar la elaboración de los estímulos de esta mesa, se exportará el audio con un metrónomo de 90 pul./seg. para transformar la duración del original (15 seg.) en los 10 que durará esta tanda de estímulos.
		B	47	1. Ya estará copiado antes de la variación rítmica del 46.	
		C	48	1. Importar estímulo 48C_CR de la MESA 12. 2. Variar aleatoriamente los sonidos de las diferentes voces, creando una situación de confusión armónica. También podría realizarse superponiendo varias pistas del EO para después transportar cada una de ellas a diferentes tonos aleatoriamente.	
		D	49	1. Importar estímulo 18C_RR de la mesa 10. 2. Cambiar la ganancia de diferentes sílabas separadas por intervalos de tiempo tales que no se pueda predecir un pulso concreto, de forma irregular e impredecible. 3. La estructura melódica y rítmica de la prosodia quedará intacta.	
		E	50	1. Importar estímulo 18C_RR de la mesa 10. 2. Recortar pasajes de duración aleatoria para después modificar los formantes asignando valores distintos para cada recorte. En ninguno de ellos se reconocerá el timbre de la voz materna. 3. La estructura melódica y rítmica de la prosodia quedará intacta.	

N	4_MESA	A	11	1. Recortar los diez primeros segundos del EO (16A_RR) de la MESA 1.	1. Estos estímulos se realizarán recortando los 10 primeros segundos de los de la MESA 1 salvo los polifónicos, que se importarán de las mesas correspondientes.
		B	12	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 17B_RR de la MESA 1.	
		C	13	1. Importar estímulo 13C_RN de la MESA 13.	
		D	14	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 19D_RR de la MESA 1.	
		E	15	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 20E_RR de la MESA 1.	

	5_MESA	A	26	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 31A_OR de la MESA 2.	1. Estos estímulos se realizarán recortando los 10 primeros segundos de los de la MESA 2 salvo los polifónicos, que se importarán de las mesas correspondientes.
		B	27	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 32B_OR de la MESA 2.	
		C	28	1. Importar estímulo 28C_ON de la MESA 14.	
		D	29	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 34D_OR de la MESA 2.	
		E	30	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 35E_OR de la MESA 2.	

	6_MESA	A	41	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 46A_CR de la MESA 3.	1. Estos estímulos se realizarán recortando los 10 primeros segundos de los de la MESA 3. salvo los polifónicos, que se importarán de las mesas correspondientes.
		B	42	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 47B_CR de la MESA 3.	
		C	43	1. Importar estímulo 43C_CN de la MESA 15.	
		D	44	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 49D_CR de la MESA 3.	
		E	45	1. Recortar los diez primeros segundos del estímulo 50E_CR de la MESA 3.	

L	7_MESA	A	6	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del EO (16A_RR) de la Mesa 1.	1. Estos estímulos se realizarán recortando los primeros segundos (2-3) de los de la MESA 1 salvo los polifónicos, que se importarán de las mesas correspondientes.
		B	7	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 17B_RR de la MESA 1.	
		C	8	1. Importar estímulo 8C_RL de la MESA 16.	
		D	9	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 19D_RR de la MESA 1.	
		E	10	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 20E_RR de la MESA 1.	

	8_MESA	A	21	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 31A_OR de la MESA 2.	1. Estos estímulos se realizarán recortando los primeros segundos (2-3) de los de la MESA 2 salvo los polifónicos, que se importarán de las mesas correspondientes.
		B	22	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 32B_OR de la MESA 2.	
		C	23	1. Importar estímulo 23C_OL de la MESA 17.	
		D	24	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 34D_OR de la MESA 2.	
		E	25	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 35E_OR de la MESA 2.	

	9_MESA	A	36	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 46A_CR de la MESA 3.	1. Estos estímulos se realizarán recortando los primeros segundos (2-3) de los de la MESA 3. salvo los polifónicos, que se importarán de las mesas correspondientes.
		B	37	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 47B_CR de la MESA 3.	
		C	38	1. Importar estímulo 38C_CL de la MESA 18.	
		D	39	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 49D_CR de la MESA 3.	
		E	40	1. Recortar los primeros segundos (2-3 seg.) del estímulo 50E_CR de la MESA 3.	

9.7. ANEXO 7: BASE DE DATOS DEL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA FETAL

En este QR se puede consultar la base de datos completa del análisis de la respuesta fetal por las tres observadoras del estudio.