

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA**

**FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS BIOMÉDICAS**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**HOSPITAL CENTRAL DEL ESTADO DE CHIHUAHUA**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

**“ASOCIACIÓN ENTRE ALTERACIONES EN EL REGISTRO CARDIOTOCOGRÁFICO Y SU  
PREDICCIÓN EN ASFIXIA PERINATAL: EVALUACIÓN MEDIANTE APGAR Y ANÁLISIS  
GASOMÉTRICO EN EL HOSPITAL CENTRAL DEL ESTADO DE CHIHUAHUA”**

POR:

**SAMANTHA PORTILLO MARTÍNEZ**

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALIDAD EN GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA**

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

17 DE ENERO DEL 2025

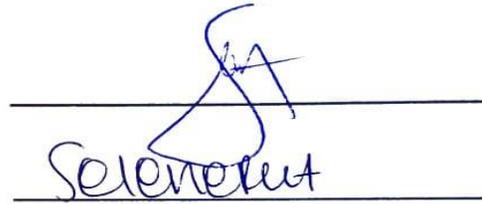


**Universidad Autónoma de Chihuahua**  
**Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas**  
**Secretaría de Investigación y Posgrado.**

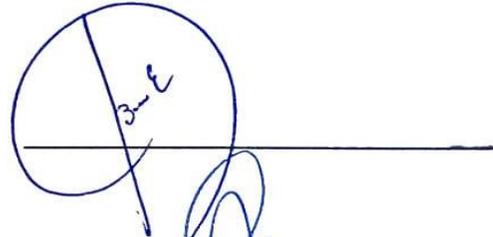


La tesis “Asociación entre alteraciones en el registro cardiotocográfico y su predicción en asfisia perinatal: Evaluación mediante APGAR y análisis gasométrico en el Hospital Central del Estado de Chihuahua” que presenta Samantha Portillo Martínez, como requisito parcial para obtener el grado de: **Especialidad en Ginecología y Obstetricia**; ha sido revisada y aprobada por la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas

DR. SAID ALEJANDRO DE LA CRUZ REY  
Secretario de Investigación y Posgrado  
Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas  
Universidad Autónoma de Chihuahua



DRA. BARBARA SELENE RUIZ APONTE  
Jefe de Enseñanza  
Hospital Central del Estado  
“Dr. Jesús Enrique Grajeda Herrera”



DR. BERNARDO OCTAVIO ENRÍQUEZ GUILLEN  
Profesor Titular de la Especialidad  
Hospital Central del Estado  
“Dr. Jesús Enrique Grajeda Herrera”



DR. JORGE ALBERTO SANTIAGO SÁNCHEZ  
Director de Tesis  
Hospital Central del Estado  
“Dr. Jesús Enrique Grajeda Herrera”



DR. MANUEL DAVID PÉREZ RUIZ  
Asesor(a)  
Hospital Central del Estado  
“Dr. Jesús Enrique Grajeda Herrera”

Se certifica, bajo protesta de decir verdad, que las firmas consignadas al pie del presente documento son de carácter original y auténtico, correspondiendo de manera inequívoca a los responsables de las labores de dirección, seguimiento, asesoría y evaluación, en estricta conformidad con lo dispuesto en la normativa vigente de esta institución universitaria.



## RESUMEN

### “ASOCIACIÓN ENTRE ALTERACIONES EN EL REGISTRO CARDIOTOCOGRÁFICO Y SU PREDICCIÓN EN ASFIXIA PERINATAL: EVALUACIÓN MEDIANTE APGAR Y ANÁLISIS GASOMÉTRICO EN EL HOSPITAL CENTRAL DEL ESTADO DE CHIHUAHUA”

El registro cardiotocográfico (RCTG) es una herramienta clave para monitorizar el bienestar fetal durante el trabajo de parto y predecir complicaciones neonatales. Este estudio evaluó la asociación entre las alteraciones del RCTG y la asfixia perinatal en 126 cesáreas realizadas en el Hospital Central del Estado de Chihuahua. Se analizaron las puntuaciones de Apgar y los resultados de gasometría del cordón umbilical como indicadores diagnósticos. Los resultados mostraron una correlación significativa entre patrones cardiotocográficos patológicos y acidosis neonatal, aunque con limitaciones en sensibilidad y especificidad. El RCTG demostró ser útil para identificar fetos en riesgo, pero la alta tasa de falsos positivos subraya la necesidad de métodos complementarios, como ultrasonido Doppler y perfil biofísico. Este estudio resalta la importancia de un enfoque multidimensional para optimizar los resultados neonatales y prevenir complicaciones como la encefalopatía hipóxico-isquémica.

**Palabras clave:** Bienestar fetal, encefalopatía hipóxico-isquémica, monitoreo fetal, acidosis neonatal

### “ASSOCIATION BETWEEN ALTERATIONS IN CARDIOTOCOGRAPHIC RECORDINGS AND THEIR PREDICTION OF PERINATAL ASPHYXIA: EVALUATION THROUGH APGAR AND GASOMETRIC ANALYSIS AT THE CENTRAL HOSPITAL OF THE STATE OF CHIHUAHUA”

## ABSTRACT

Cardiotocography (CTG) is a key tool for monitoring fetal well-being during labor and predicting neonatal complications. This study evaluated the association between CTG abnormalities and perinatal asphyxia in 126 cesarean deliveries performed at the Hospital Central del Estado de Chihuahua. Apgar scores and umbilical cord gasometry results were analyzed as diagnostic indicators. The findings revealed a significant correlation between pathological CTG patterns and neonatal acidosis, although with limitations in sensitivity and specificity. CTG proved useful in identifying fetuses at risk, but the high rate of false positives underscores the need for complementary methods such as Doppler ultrasound and biophysical profile. This study highlights the importance of a multidimensional approach to optimize neonatal outcomes and prevent complications such as hypoxic-ischemic encephalopathy.

**Keywords:** Fetal well-being, hypoxic-ischemic encephalopathy, fetal monitoring, neonatal acidosis



**MEDI  
CHIHUAHUA**

Chihuahua, Chih. A 14 de Enero del 2025  
Oficio HC/EM023/2025  
Asunto: **LIBERACION DE TESIS**

**DR. SAID ALEJANDRO DE LA CRUZ REY**  
SECRETARIO DE INVESTIGACION Y POSGRADO  
FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS BIOMEDICAS  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA  
**PRESENTE.-**

La que suscribe, Jefa de Enseñanza Médica del Hospital Central del Estado.

### HACE CONSTAR

Que la **DRA. SAMANTHA PORTILLO MARTINEZ**, residente de la especialidad de **GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA** de **CUARTO AÑO**, entregó en forma su tesis:

**“ASOCIACIÓN ENTRE ALTERACIONES EN EL REGISTRO CARDIOTOCOGRÁFICO Y SU PREDICCIÓN EN ASFIXIA PERINATAL: EVALUACIÓN MEDIANTE APGAR Y ANALISIS GASOMÉTRICO EN EL HOSPITAL CENTRAL DEL ESTADO DE CHIHUAHUA”**

Así mismo manifiesto que no tiene adeudo alguno en éste Hospital, y después de valorar su caso en el comité de investigación del Hospital se autoriza liberación de su tesis para continuar con sus trámites.

Se expide la presente a petición del interesado para los fines que le convengan, en la ciudad de Chihuahua, Chih. a los 14 días del mes de Enero del 2025.

### ATENTAMENTE



*Seleen Ruiz Aponte*

**DRA. BARBARA SELENE RUIZ APONTE**  
JEFATURA DE ENSEÑANZA MÉDICA  
HOSPITAL CENTRAL DEL ESTADO DE CHIHUAHUA  
“Dr. Jesús Enrique Grajeda Herrera”  
Tel. 614.429.33.00 Ext. 16526 y 16527



SECRETARÍA  
DE SALUD

**ICHISAL**  
INSTITUTO CHIHUAHUENSE  
DE SALUD

“2024, Año del Bicentenario de fundación del estado de Chihuahua”

Calle Tercera No. 604, Col. Centro, Chihuahua, Chih  
Teléfono (614) 429-3300



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
CHIHUAHUA

## **AGRADECIMIENTOS:**

A mis padres, por ser mi guía, mi fuerza y mi refugio en todo momento. Por su amor incondicional, su ejemplo de vida y sus palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante, aun cuando el camino parecía difícil. Gracias por enseñarme que el esfuerzo, la perseverancia y los valores son la base para alcanzar cualquier meta. Este logro también es suyo.

A Pedro y a Daniela, por estar siempre presentes desde el inicio de esta travesía. Gracias por su compañía constante, su apoyo incondicional y, sobre todo, por siempre creer en mí.

A mi esposo Aldo, mi compañero de vida, quien ha sido mi motor, mi refugio y mi fuente de ánimo inagotable. Por acompañarme con amor y paciencia, gracias por recordarme siempre la razón por la que sigo adelante.

A los maestros que, además de compartir su conocimiento, me brindaron guía y comprensión en los momentos más difíciles. A aquellos que, con un gesto de empatía hicieron más llevadero este camino. Gracias por sus enseñanzas, por su tiempo y por confiar en mi capacidad.

A mi director y asesor de tesis, por su orientación y por compartir su experiencia. A quienes me guiaron en la investigación, gracias por su tiempo y enseñanzas.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro. Sin su amor, apoyo y confianza, nada de esto habría sido posible.



## ÍNDICE

MARCO CONCEPTUAL .....	1
REGISTRO CARDIOTOCOGRÁFICO.....	2
CLASIFICACIÓN DE PATRONES CARDIOTOCOGRÁFICOS.....	8
INTERVENCIONES CLÍNICAS.....	10
ASFIXIA PERINATAL.....	13
RELACIÓN ENTRE LA INTERPRETACIÓN DEL REGISTRO CARDIOTOCOGRÁFICO Y LA ASFIXIA PERINATAL.....	20
PERFIL BIOFÍSICO.....	21
MUESTREO DE SANGRE FETAL .....	23
ULTRASONIDO DOPPLER.....	24
NUEVAS TECNOLOGÍAS .....	26
MARCO CONCEPTUAL .....	26
Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO).....	26
Colegio Americano de Obstetras y Ginecólogos (ACOG).....	29
Instituto Nacional de Salud y Excelencia Clínica (NICE) del Reino Unido.....	30
Meta-análisis y Revisiones Sistemáticas .....	32
Protocolos de Actuación Basados en Evidencia .....	33
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	37
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	38
JUSTIFICACIÓN.....	41
HIPÓTESIS.....	42
Hipótesis Nula (H0): .....	42
Hipótesis Alternativa (H1):.....	43
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN: .....	43
OBJETIVOS.....	43
Objetivo General: .....	43
Objetivos Específicos: .....	43
MATERIAL Y MÉTODOS.....	44
TIPO DE ESTUDIO .....	44
DISEÑO DE ESTUDIO:.....	44
POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	44
CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....	44
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	45



TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	45
RECURSOS .....	49
RECURSOS HUMANOS .....	49
RECURSOS FINANCIEROS.....	50
METODOLOGÍA OPERACIONAL.....	50
CONSIDERACIONES ÉTICAS .....	51
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	52
RESULTADOS.....	52
DISCUSION.....	64
Fortalezas del Estudio .....	68
Limitaciones del Estudio.....	68
Implicaciones Clínicas y Futuras Investigaciones .....	68
CONCLUSION.....	69
REFERENCIAS .....	74



## MARCO CONCEPTUAL

El registro cardiotocográfico (RCTG) evalúa simultáneamente la frecuencia cardíaca fetal (FCF) y las contracciones uterinas maternas, se emplea para vigilar el bienestar fetal durante el parto o en el tercer trimestre del embarazo. La FCF basal y su reacción a las contracciones uterinas permiten identificar el sufrimiento fetal, lo cual podría necesitar una intervención terapéutica.(1)

El RCTG registra continuamente las contracciones uterinas (CU) maternas a través de un transductor de presión colocado en la pared abdominal y los latidos del corazón fetal (FCF) a través de una sonda de ultrasonido externa en la pared abdominal materna. Las lecturas simultáneas se pueden visualizar en tiempo real. Existe una conexión entre la CTG y la mortalidad y morbilidad perinatal, ya que un resultado patológico de la CTG está relacionado con una puntuación APGAR baja y unidades de cuidados intensivos neonatales (UCIN). (2)

La falta de oxígeno a menudo provoca cambios fisiopatológicos en el feto, y en algunos casos conduce a asfixia al nacer, lo cual causa alrededor de 900,000 muertes neonatales al año. La mortalidad fetal es más frecuente en los países de bajos ingresos en comparación con los de altos ingresos, lo que destaca las diferencias en el acceso a la atención médica y los recursos disponibles. Aunque la tasa mundial de mortalidad neonatal (por cada 1,000 nacidos vivos) ha disminuido de 36.7 en 1990 a 17 en 2020, sigue siendo significativamente más alta en las regiones de bajos ingresos. Incluso en las regiones de altos ingresos, una de las causas más comunes de muerte fetal fueron las complicaciones de la placenta (que también están relacionadas con el sufrimiento fetal). (1)



## REGISTRO CARDIOTOCOGRÁFICO

El monitoreo fetal o también conocido como cardiotocografía (kardia = corazón, todos = trabajo de parto, parto) fue estudiado desde 1958 por el médico uruguayo Roberto Caldeyro-Barcía, considerado el padre de la perinatología. En sus estudios concluye que la actividad uterina durante el parto determinaba el ritmo y frecuencia cardíaca fetal y, por ende, el grado de oxigenación del feto.(3)

Para poder valorar adecuadamente un registro cardiotocográfico fetal, es necesario observar las características que éste cuenta; tales como la frecuencia cardíaca fetal basal, la variabilidad, presencia de aceleraciones y/o desaceleraciones, y la actividad uterina. (4)

Frecuencia cardíaca fetal basal (FCFb): Se trata de la media de la frecuencia cardíaca fetal, que se aproxima a incrementos de 5 latidos por minuto y durante un periodo de 10 minutos. Se excluyen las aceleraciones, desaceleraciones y periodos de variabilidad marcada. Para considerarla debe durar un mínimo de 2 minutos en un segmento de 10 minutos. En caso contrario, se describe como FCFb indeterminada. En registros en que no se pueda definir la FCFb por ser inestable, habría que revisar segmentos previos; para determinarla puede ser necesario evaluar periodos más largos.

FIGO 2015 - FCFb normal: Un valor entre 110 y 160 lpm. Los fetos pre-término tienden a tener valores en el límite alto de este rango y los post-término en el límite bajo. Algunos expertos consideran los valores de normalidad a término entre 110-150 lpm. FIGO 2015

Es importante averiguar la FCFb normal para cada feto en particular revisando RCTG previos del mismo si existieran o apuntes en la historia clínica. Taquicardia: FCFb por encima de 160 lpm durante más de 10 minutos. - Bradicardia: FCFb por debajo de 110



lpm durante más de 10 minutos. Valores entre 90 y 110 lpm pueden objetivarse en fetos normales, especialmente en gestaciones post-término. Es vital confirmar que no se está registrando el latido materno y que la variabilidad está conservada.

Variabilidad: Se refiere a la oscilación de la señal de la FCF, que corresponde a la media de la amplitud de banda en un segmento de 1 minuto; las fluctuaciones deberían ser regulares en amplitud y frecuencia. La variabilidad se expresa en latidos por minuto (lpm).

- *Normal:* amplitud de banda de 5 – 25 lpm. - Reducida: amplitud de banda por debajo de 5 lpm durante más de 50 minutos en la línea basal, o de más de 3 minutos durante desaceleraciones.
- *Variabilidad ausente (silente):* Amplitud de banda indetectable, con o sin desaceleraciones.
- *Variabilidad aumentada (Patrón saltatorio):* amplitud de banda que supera los 25 lpm durante más de 30 minutos. La fisiopatología de este patrón no se comprende completamente, pero podría estar en relación con desaceleraciones recurrentes, cuando la hipoxia/acidosis se desarrolla rápidamente. Se cree que puede ser causada por inestabilidad/hiperactividad autonómica del feto. En caso de identificarse durante la segunda fase del parto o durante desaceleraciones es probable que se requiera de actuación urgente. Un patrón saltatorio que dure más de 30 minutos puede indicar hipoxia incluso en ausencia de desaceleraciones.
- *Patrón sinusoidal:* Se trata de una ondulación regular y suave que recuerda a una onda sinusoidal, con una amplitud de 5–15 lpm y una frecuencia de 3- 5 ciclos en 1 minuto. Este patrón dura más de 30 minutos y requiere ausencia de



aceleraciones. La base fisiopatológica del patrón sinusoidal no está completamente filiada, pero se sabe que ocurre en asociación a la anemia fetal severa, pues puede verse en casos de isoimmunización anti-D, hemorragia materno-fetal, Síndrome de transfusión feto-fetal y rotura de vasa previa. También ha sido descrito en casos de hipoxia fetal aguda, infección, malformaciones cardíacas, hidrocefalia y gastrosquisis.

- *Patrón pseudo-sinusoidal*: Es un patrón similar al sinusoidal, pero con una forma más angulada y picuda similar a unos “dientes de tiburón”. Su duración raramente supera los 30 minutos y suele ser precedido y continuarse por un registro normal.
- *Variabilidad normal*: Patrón saltatorio Variabilidad reducida Patrón sinusoidal Pseudo-sinusoidal Algunas autoridades consideran que el patrón “pseudo-sinusoidal” es aquél sinusoidal con presencia de aceleraciones. Y llaman “Patrón sinusoidal atípico” al patrón más puntiagudo en forma de dientes de tiburón o “Poole shark-teeth pattern”. Éste es causado por hipotensión fetal secundaria a una hemorragia materno-fetal aguda y condiciones como la ruptura de la vasa previa. Este patrón ha sido descrito después de la administración de analgésicos a la madre, durante periodos en que el feto chupetea un dedo y otros movimientos bucales del feto. A veces es difícil diferenciar el patrón pseudo-sinusoidal del auténtico sinusoidal, siendo la corta duración del primero la variable más importante para discriminar entre los dos.

Aceleraciones: Incremento abrupto de la FCF (del inicio al pico en menos de 30 segundos), de más de 15 lpm de amplitud y que dura más de 15 segundos, pero menos de 10 minutos. Antes de las 32w la amplitud y duración de las aceleraciones puede ser



menor (10 segundos y 10 lpm de amplitud). Una aceleración debe iniciar y volver a una línea basal estable. GCP Si se evidencian aceleraciones coincidentes con contracciones uterinas especialmente durante la segunda fase de parto, hay que descartar que se esté registrando la frecuencia cardiaca materna, debido a que FCF fetal desacelera con la contracción y la materna típicamente aumenta.

Desaceleraciones: Descenso en la FCF por debajo de la línea basal de más de 15 lpm de amplitud y que dura más de 15 segundos. Se considera que son una respuesta refleja para disminuir el gasto cardíaco cuando el feto es expuesto a un estrés hipóxico o mecánico, para ayudar a mantener el metabolismo aeróbico del miocardio. - Desaceleraciones tempranas: Disminuyen y vuelven a la línea basal de forma gradual (del inicio al nadir  $\geq 30$ s). Coinciden con las contracciones de forma especular, y conservan la variabilidad dentro de la contracción. Suelen aparecer en la primera fase de parto tardía y segunda fase, y se cree que son secundarias a compresión de la cabeza fetal. No traducen hipoxia/acidosis

- *Desaceleraciones variables:* Tienen forma de “V” y muestran una rápida caída (del inicio al nadir  $< 30$ s) seguido de una rápida recuperación a la línea basal. Ésta rapidez es debida a compresión umbilical e implica que no permite valorar la variabilidad durante la contracción. Son variables en cuanto a tamaño, forma y en relación con las contracciones uterinas. Las desaceleraciones variables constituyen la mayoría de las desaceleraciones durante el trabajo de parto y traducen una respuesta mediada por barorreceptores al incrementar la presión arterial, como ocurre con la compresión del cordón umbilical. También pueden ocurrir (o en asociación con) estimulación periférica de quimiorreceptores. Las



desaceleraciones variables se asocian raramente a hipoxia/acidosis, a menos que adquieran una forma de “U” con variabilidad reducida o muy aumentada dentro de la desaceleración (ver desaceleraciones tardías debajo), y/o su duración superara los 3 minutos.

- *Desaceleraciones tardías*: Tienen un inicio o recuperación a la línea basal muy gradual y/o disminución o incremento de la variabilidad. Ocurre cuando pasan más de 30 segundos entre el principio y el nadir o entre el nadir y la recuperación. Cuando las contracciones están correctamente registradas, las desaceleraciones tardías empiezan más de 20 segundos después del inicio de la contracción, tiene el nadir después del acmé y la vuelta a la línea basal después del final de la contracción. Estas desaceleraciones indican una respuesta a hipoxia fetal mediada por quimiorreceptores. En un RCTG sin aceleraciones y con una variabilidad disminuida la definición de desaceleraciones tardías también incluye a aquellas con una amplitud de 10–15 lpm (desaceleraciones leves).
- *Desaceleraciones prolongadas*: Aquellas que duran más de 3 minutos. Es probable que estén mediadas por quimiorreceptores y por tanto indiquen hipoxia. Las que superan los 5 minutos con una FCF mantenida de menos de 80lpm y variabilidad reducida dentro de la desaceleración están frecuentemente asociados con hipoxia/acidosis fetal aguda y requieren una intervención urgente

Contracciones: Son registradas en forma de campana con un incremento gradual y una disminución simétrica. El toco dinamómetro sólo evalúa de forma fiable la frecuencia de las contracciones. La intensidad y duración de las mismas debe ser evaluada mediante palpación manual. Si la frecuencia de las contracciones no puede evaluarse



con seguridad con el toco dinamómetro debería realizarse un examen mediante palpación manual durante 10 minutos cada 30 minutos. PCB

- *Taquisistolia*: supone una frecuencia excesiva de contracciones y se define como la presencia de más de 5 contracciones en 10 minutos, en 2 periodos de 10 minutos sucesivos o haciendo la media en un periodo de 30 minutos.
- *Hiperestimulación*: es debida a una respuesta exagerada a estimulantes uterinos presentando un aumento en la frecuencia, fuerza y tono de las contracciones, incremento de tono basal entre contracciones y/o contracciones prolongadas en el tiempo de más de 2 minutos. Esto puede ocasionar cambios en la FCF fetal. Por lo tanto, cualquier incremento en la actividad uterina (frecuencia, duración o fuerza) asociado con cambios en el registro fetal deberían considerarse hiperestimulación uterina. Puede también darse raramente en casos sin estimulantes uterinos (para evitar complicaciones, el término “hiperestimulación” se usará indistintamente para referirse a actividad uterina espontánea y por estimulantes).

Los parámetros de CTG, incluida la FCF inicial y la variabilidad, parecen ser marcadores pronósticos independientes de acidosis fetal y se asocian con una reducción significativa en las tasas de morbilidad y mortalidad neonatal temprana. Actualmente, hasta donde sabemos, no existe consenso entre los científicos con respecto a la sensibilidad y especificidad de la CTG para predecir la acidosis embrionaria.

El uso generalizado de la monitorización fetal electrónica continua ha aumentado las tasas de partos quirúrgicos y cesáreas sin mejorar los resultados neonatales, aunque es apropiado en trabajos de parto de alto riesgo. La auscultación intermitente estructurada,



una forma infrutilizada de monitorización fetal, puede reducir las tasas de partos quirúrgicos y cesáreas en partos de bajo riesgo, manteniendo resultados neonatales similares a la monitorización electrónica continua. Sin embargo, su implementación es difícil debido a barreras en el personal de enfermería y la supervisión médica. (5)

### CLASIFICACIÓN DE PATRONES CARDIOTOCOGRÁFICOS

La correcta interpretación de los resultados del CTG es fundamental para la implementación de una correcta política de gestión de entregas. En 2008, el Instituto Nacional de Salud Infantil y Desarrollo Humano (NICHD) de EE. UU. propuso un sistema unificado para la interpretación objetiva de las grabaciones. Las pautas del NICHD incluyen seis parámetros de evaluación: I) Contracciones; II) variabilidad de la FCF; III) aceleraciones; IV) desaceleraciones (periódicas o episódicas prolongadas); V) taquicardia; y VI) bradicardia.(6)(7)

La Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO) y el Instituto Nacional para la Excelencia en Salud y Atención (NICE), según las directrices revisadas que emitieron en 2015 y 2017, respectivamente, definieron tres categorías de patrones de FCF CTG, que se resumen a continuación:

La correcta interpretación de los resultados del CTG es fundamental para la implementación de una correcta política de gestión de entregas. En 2008, el Instituto Nacional de Salud Infantil y Desarrollo Humano (NICHD) de EE. UU. propuso un sistema unificado para la interpretación objetiva de las grabaciones. Las pautas del NICHD incluyen seis parámetros de evaluación: i) Contracciones; ii) variabilidad de la FCF; iii) aceleraciones; iv) desaceleraciones (periódicas o episódicas prolongadas); taquicardia; y vi) bradicardia.



La Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO) y el Instituto Nacional para la Excelencia en Salud y Atención (NICE), según las directrices revisadas que emitieron en 2015 y 2022, respectivamente, definieron tres categorías de patrones de FCF CTG, que se resumen a continuación:(8)(9)(10)(11)

Tipo I: Frecuencia cardíaca fetal basal de 110 a 160 latidos/min, variabilidad moderada (6 a 25 latidos/1 min) y ausencia de desaceleraciones repetidas (desaceleraciones presentes en >50% de las contracciones fetales). Esto implica que la interpretación se realiza en ausencia de hipoxia/acidosis.(6)

Tipo II: Ausencia de al menos una característica de categoría I, pero sin rasgos patológicos, taquicardia o bradicardia no acompañada de falta de variabilidad, variabilidad reducida o eliminada sin desaceleraciones tardías, ausencia de aceleraciones (especialmente después de la estimulación). Esto también incluye desaceleraciones periódicas o episódicas, como desaceleraciones variables, prolongadas, tardías recurrentes tipo 1 (con variabilidad moderada), desaceleraciones variables con retorno lento al ritmo normal y aceleraciones bruscas. La interpretación en este caso indica una baja probabilidad de hipoxia/acidosis. La intervención consiste en corregir las causas reversibles si se identifican o realizar toma de muestras de sangre fetal (FBS) para evaluar la oxigenación fetal. (6)

Tipo III: Ausencia de variabilidad con desaceleraciones tardías repetidas (tipo 2) o desaceleraciones variables, bradicardia, ritmo auricular (<100 latidos/min), variabilidad aumentada o disminuida, o registro sinusoidal, desaceleraciones tardías recurrentes o prolongadas que duran más de 30 minutos, o 20 minutos si se reduce la variabilidad, o una desaceleración prolongada de más de 5 minutos. En este caso, la interpretación es



una alta probabilidad de hipoxia/acidosis. Se requiere una intervención inmediata para corregir las causas reversibles. Se necesitan métodos adicionales para evaluar la oxigenación fetal o, si el parto no es posible en condiciones agudas como prolapso del cordón umbilical, ruptura uterina o desprendimiento de placenta, se debe proceder al parto inmediato.(12)

### INTERVENCIONES CLÍNICAS

Cuando se sospecha de hipoxia o acidosis fetal y se requiere intervención para prevenir un resultado neonatal adverso, esto no implica necesariamente que deba realizarse un parto inmediato por cesárea o fórceps. A menudo, la causa subyacente que provoca los patrones sospechosos o anormales (principalmente taquipnea e hipotensión materna) puede identificarse y tratarse, lo que permite restablecer una oxigenación fetal adecuada y retornar a registros normales.

Las maniobras de reanimación intrauterina son un conjunto de procedimientos destinados a satisfacer las necesidades del parto, hacer avanzar el proceso, optimizar el flujo de sangre a través del útero y el cordón umbilical, elevar el nivel de oxigenación del feto y preservar una actividad suficiente del tejido. Estas intervenciones mejoran el suministro de sangre materna, la perfusión placentaria y la oxigenación fetal, e incluyen las siguientes:

-Cambiar la posición de la madre: La posición lateral alivia la presión sobre la vena cava inferior y la aorta maternas, maximizando así el gasto y el retorno cardíacos y mejorando así la perfusión sanguínea al útero. La colocación lateral también puede aliviar la compresión del cordón umbilical al alterar la asociación entre la pared uterina, el cordón umbilical y las partes del cuerpo fetal. Se ha encontrado una mejor oxigenación



fetal en la posición lateral izquierda en comparación con las posiciones lateral derecha y supina. Además, se ha asociado con menos desaceleraciones tardías y más aceleraciones de la FCF en comparación con la posición supina.

-Disminución de la actividad miometrial: Durante el trabajo de parto, las contracciones uterinas provocan que las arterias espirales se contraigan cuando la presión intrauterina supera la de estas arterias, interrumpiendo temporalmente el suministro de sangre y el oxígeno al feto. La mayoría de los fetos pueden tolerar esta reducción de oxígeno si la disposición uteroplacentaria y el intercambio de oxígeno son normales. Sin embargo, la actividad uterina excesiva puede poner al feto en riesgo de hipoxemia. La taquisistolia se ha relacionado con resultados adversos tanto maternos como neonatales, incluyendo un aumento en la tasa de cesáreas, partos vaginales asistidos, ingreso a la unidad de cuidados intensivos neonatales y sepsis. También se ha demostrado que una marcada variabilidad está asociada con una reducción de la saturación de oxígeno fetal y una mayor incidencia de variabilidad mínima o ausente junto con desaceleraciones tardías y recurrentes, lo que puede llevar a academia fetal. Dado que incluso breves periodos de intensa actividad miometrial afectan la oxigenación fetal, las intervenciones no deben retrasarse hasta que se presenten patrones de RCTG de clase II.

-Administración de líquidos por vía intravenosa: El uso de líquidos intravenosos durante el trabajo de parto se considera beneficioso para mejorar la perfusión placentaria al mantener o restaurar el volumen intravascular materno, aunque la evidencia de su eficacia es limitada. Sin embargo, administrar 500-1000 ml de solución de Ringer lactato



ha demostrado aumentar significativamente la oxigenación fetal, especialmente con 1000 ml.(6)

El Colegio Americano de Obstetras y Ginecólogos (ACOG) recomienda el uso de líquidos intravenosos para mejorar el suministro de sangre uteroplacentaria y la oxigenación fetal cuando se observan desaceleraciones tardías recurrentes, desaceleraciones prolongadas, bradicardia fetal o variabilidad mínima o ausente de la frecuencia cardiaca fetal. (9)

El embarazo aumenta el riesgo de edema pulmonar debido a la disminución de la presión coloidosmótica materna, junto con un aumento del gasto cardiaco y del volumen plasmático. Se debe evitar la infusión de grandes volúmenes de líquidos que contienen glucosa debido a posibles complicaciones maternas y fetales.

-Corrección de la hipotensión materna: Para restablecer la presión arterial, se recomienda la hidratación y la colocación en posición lateral o Trendelenburg. En casos menos frecuentes, se utilizan medicamentos como la efedrina, que no tiene efectos adversos conocidos sobre el feto.

-Proporcionar oxígeno a la madre: Diversos estudios han mostrado una mejora en la oxigenación fetal al agregar oxígeno a la madre a través de una máscara de 10l/min durante 15 a 30 minutos. Debido a la falta de evidencia sobre la duración ideal del oxígeno, su uso debe ser lo más breve posible para lograr el efecto deseado. Muchos científicos apoyan el sustento de la administración de oxígeno en presencia de desaceleraciones tardías o prolongadas, desaceleraciones variables significativas, bradicardia o variabilidad mínima o ausente persistente.



-Disminuir el pujo materno: Durante la segunda etapa del trabajo de parto, los esfuerzos de pujo de la madre pueden causar desaceleraciones de la frecuencia cardíaca fetal. Los enfoques terapéuticos recomendados incluyen exhalar con la glotis abierta en lugar de usar la maniobra de Valsalva, reducir la cantidad de esfuerzos exhalativos por contracción, acortar cada esfuerzo, exhalar cada segunda o tercera contracción y, en el caso de las madres con anestesia regional, pujar únicamente cuando se sienta la necesidad. (6)

-Estimulación del cuero cabelludo fetal: Para reducir la posibilidad de una cesárea innecesaria, se pueden ofrecer pruebas adicionales de "segunda línea". Una de esas pruebas consiste en estimular vaginalmente el cuero cabelludo del bebé en un intento de provocar un aumento en la frecuencia cardíaca del bebé. Estudios Cochrane han determinado que no hay evidencia que este método sea seguro y eficaz para confirmar el bienestar fetal durante el trabajo de parto. (13)(4)

## ASFIXIA PERINATAL

Uno de los mayores desafíos en obstetricia es determinar el momento adecuado para el nacimiento del feto. Las intervenciones innecesarias durante el trabajo de parto pueden dañar a la madre, mientras que las intervenciones tardías pueden provocar la muerte fetal o neonatal, o daño permanente al sistema nervioso central (SNC). No se conoce el tiempo exacto necesario para completar el parto y evitar resultados neonatales adversos. La encefalopatía neonatal (EN) ocurre en 3 de cada 1,000 nacidos vivos a término en países desarrollados; y de 5-10 de cada 1,000 recién nacidos en países en desarrollo y es un predictor importante de trastornos neurológicos futuros (14). En el 15-20% de los casos, la encefalopatía neonatal resultará en muerte neonatal, y el 25% de



los recién nacidos afectados sufrirá daño neurológico permanente. La EN se presenta como un síndrome clínico con reducción del nivel de conciencia, convulsiones, insuficiencia respiratoria y/o disminución del tono y los reflejos.(15)

Se estima que el 70% de los casos con encefalopatía neonatal resultan de eventos ocurridos antes del inicio del trabajo de parto, mientras que menos del 10% son causados por complicaciones posnatales como dificultad respiratoria grave, sepsis y shock. El resto se debe a hipoxia/acidosis durante el parto, aunque su incidencia varía según la atención recibida.(16)

Durante 50 años, la monitorización fetal electrónica (EFM) se ha utilizado ampliamente en el trabajo de parto para intentar prevenir una gran proporción de encefalopatía neonatal y parálisis cerebral. Sin embargo, incluso líderes de opinión clave admiten que EFM en gran medida no ha logrado este objetivo. (17)

La hipoxia/ acidosis durante el parto puede llevar a encefalopatía isquémica hipoxica, con una incidencia de 1.5 casos por cada 1,000 nacidos vivos. La encefalopatía neonatal puede tener causas no hipóxicas, por lo que es necesario confirmar la acidosis metabólica en la sangre del cordón umbilical o neonatal en los primeros minutos del nacimiento para el diagnóstico. Las puntuaciones bajas de APGAR a los 5 y 10 minutos de vida y la evidencia temprana del edema cerebral por imágenes también son críticas.

Puede haber daño orgánico multisistémico afectando los sistemas digestivo, urinario, cardiovascular, circulatorio, endocrino y gastrointestinal, aunque la gravedad del daño neurológico no siempre está relacionada con este daño.



Durante el trabajo de parto aumenta el riesgo de compromiso de oxigenación en el feto, dado que las contracciones uterinas producen disminuciones transitorias en el flujo de sangre a la placenta, lo que puede comportar interrupciones en el intercambio de gases. Ciertos grados de hipoxemia y acidosis son normales en fetos sanos, de hecho, existe un descenso fisiológico del pH fetal (7.25 en arteria umbilical), sin representar un riesgo inmediato o a largo plazo de complicaciones fetales. (18)

La hipoxia fetal es el déficit de aporte de oxígeno a los órganos fetales secundario al deterioro del intercambio gaseoso. Cuando esta condición es persistente, progresa hacia una acidosis hipóxica. La hipoxia y en última instancia la acidosis, contribuyen de forma importante en la encefalopatía hipóxico-isquémica y en otras situaciones de morbilidad para el neonato, y a largo plazo, pueden contribuir al desarrollo de parálisis cerebral. El diagnóstico de acidosis fetal se realiza en arteria umbilical según uno o más de los siguientes criterios: (19)

- pH <7.00
- pCO<sub>2</sub> >75mmHg
- Exceso de base < - 12mmEq/L
- Lactato >10mmol/L

Dentro de la acidosis hipóxica, podemos definir dos formas clínicas:

Acidosis respiratoria: se diagnostica por una disminución del pH, aumento del pCO<sub>2</sub> y un déficit de bases normal. Refleja la alteración en el intercambio de gases, pero limitada en el tiempo. Se suele resolver espontáneamente después del nacimiento. Las complicaciones post natales son poco frecuentes y el pronóstico es excelente.



Acidosis metabólica: se diagnostica por una disminución del pH, acumulación de lactato y aumento en el déficit de bases ( $>12\text{mEq/L}$ ). Se produce por una situación de acidosis mantenida en el tiempo. Ocurre en el 2% de los partos y la mayoría de estos bebés serán asintomáticos (75%). La encefalopatía hipóxico-isquémica es la manifestación clínica más relevante.(19)

Otra métrica utilizada para evaluar el compromiso fetal es la puntuación de Apgar, que evalúa la condición física del bebé poco después del parto, donde se ha demostrado que la puntuación de Apgar de 5 minutos es un predictor del riesgo de muerte neonatal. Por lo tanto, el pH de la arteria umbilical, déficit de base y Apgar son criterios de valoración clínicos comunes utilizados para definir el compromiso fetal.(20)(21)

Durante la hipoxemia, la saturación de oxígeno en la sangre arterial disminuye, pero las funciones celulares y orgánicas se mantienen intactas. La respuesta fetal es activada por quimiorreceptores ubicados en los principales vasos sanguíneos, que reaccionan a la baja saturación de oxígeno en la sangre arterial, dependiendo del grado de oxigenación. Inicialmente, la respuesta defensiva consiste en una captura más eficiente de oxígeno, reduciendo la actividad, lo que se traduce en una disminución de los movimientos fetales y respiratorios, así como en una desaceleración o reducción en la velocidad de crecimiento fetal. A diferencia de los adultos, el feto no puede aumentar rápidamente los niveles de oxígeno incrementando la frecuencia y profundidad de la respiración, por lo que reduce la carga de trabajo miocárdica mediante un reflejo de desaceleración de la frecuencia cardíaca. (8)

Cuando el feto sufre hipoxia, se activan los quimiorreceptores, que son sensibles a la disminución de la presión parcial del oxígeno. Esta activación estimula tanto la



actividad simpática como parasimpática. La principal reacción a la hipoxia es la liberación de hormonas del estrés, como la adrenalina y la noradrenalina, producidas por las glándulas suprarrenales y el sistema nervioso simpático. Esto provoca una reducción del flujo sanguíneo hacia los tejidos periféricos, redirigiéndolo hacia los órganos centrales como el corazón, el cerebro y las glándulas suprarrenales. La liberación de adrenalina activa los receptores beta adrenérgicos en la superficie celular, lo que provoca que el AMP cíclico movilizado actualice las actividades celulares, incluida la enzima fosforilasa, que facilita la glucogenólisis e inicia el metabolismo anaeróbico. Este tipo de metabolismo puede mantenerse solo por un tiempo limitado, produciendo 19 veces menos energía y acumulando ácido láctico en el espacio intracelular, el líquido extracelular y la circulación fetal. Esto resulta en una elevada concentración de iones de hidrógeno y la consiguiente aparición de acidemia metabólica.(22)

Estos iones de hidrógeno de ácido láctico se transfieren a través de la placenta, pero son amortiguados por bases circulantes como el bicarbonato, la hemoglobina y las proteínas plasmáticas, que en el momento en el que se agoten se aumentará en el déficit de bases y se imposibilitará la capacidad de neutralizar iones hidrógeno, lo que conducirá a lesión tisular. Lo anterior permite evidenciar en estados de hipoxia una disminución inicial de la FCF, la cual varía según el tipo de hipoxia. La hipoxia aguda causa bradicardia. Mientras que la hipoxia se desarrolla paulatinamente o se mantiene uniforme causa un aumento de la FCF.(8)(23)

El riesgo de pérdida de bienestar fetal es la presencia de signos o síntomas clínicos sugestivos de ser secundarios a una acidosis hipóxica fetal y que condicionan la



conducta clínica. Sustituye al término de sufrimiento fetal. La tolerancia fetal a la hipoxia vendrá condicionada por 3 factores: (24)

- \* El bienestar fetal basal en situación no estresante o ante parto.
- \* La función placentaria: a pesar de que, en situación basal, situación no estresante, la capacidad placentaria para asegurar un buen crecimiento fetal es suficiente, durante el proceso de parto, que es en sí mismo un estrés hipóxico, puede no ser suficiente para asegurar una buena oxigenación fetal. Los eventos que puedan surgir intra parto y que comprometan la oxigenación fetal, como por ejemplo la duración de las contracciones, una situación hemodinámica materna que pueda comprometer la hemodinamia fetal, y otros. (15)

La encefalopatía neonatal hipóxico-isquémica se refiere a un conjunto de señales neurológicas que se manifiestan inmediatamente después del nacimiento, tras un episodio de falta de oxígeno durante el parto. Se caracteriza por un deterioro en el estado de alerta y la capacidad de despertar, cambios en el tono muscular y en las respuestas motoras, alteraciones en los reflejos y, en ocasiones, la presencia de convulsiones. Este trastorno ocurre debido a la privación de oxígeno en el cerebro, ya sea por niveles bajos de oxígeno en la sangre arterial o por la falta de irrigación sanguínea en el cerebro, o por la combinación de ambas situaciones. La asfixia perinatal se puede definir como la lesión producida en el feto o al recién nacido por la falta de oxígeno (hipoxia) y/o la falta de perfusión tisular adecuada (isquemia). Unos periodos prolongados de hipoxia hacen fracasar estos mecanismos y se produce el daño tisular. El diagnóstico de asfixia perinatal puede realizarse a través de la clínica por pruebas subjetivas, como el test de APGAR y por pruebas objetivas, como la gasometría.



El cerebro neonatal es propenso a la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) debido a su alto contenido de lípidos y hierro, necesarios para la mielinización y el desarrollo. Estos componentes pueden generar radicales libres y están relacionados con la ferroptosis, una forma de muerte celular dependiente del hierro. Las ROS, incluyendo el superóxido, el peróxido de hidrógeno y el radical hidróxido, juegan un papel central en el estrés oxidativo y están asociadas con lesiones cerebrales causadas por hipoxia-isquemia e hipoglucemia. Las mitocondrias son una fuente importante de ROS, pero también contienen superóxido dismutasa (SOD), un eliminador crucial de ROS. Las especies reactivas de nitrógeno (RNS) como el óxido nítrico y el peroxinitrico, también están implicadas en la asfixia neonatal, causando oxidación de proteínas, peroxidación de lípidos y daño del ADN.

En recién nacidos, la actividad de superóxido dismutasa (SOD) es baja, aumentando el daño oxidativo debido al desequilibrio entre la producción de ROS y la capacidad de desintoxicación. La bilirrubina puede estimular la expresión de superóxido dismutasa, pero no es suficiente para prevenir completamente el estrés oxidativo. La SOD también atenúa las reacciones inflamatorias en células endoteliales, desempeñando un papel importante en la asfixia neonatal. (25)

Se cree clínicamente que el sufrimiento fetal ocasionado por trastornos hipertensivos del embarazo es la principal causa de hipoxia fetal en el útero. En circunstancias normales, después de implantar la placenta uterina, la circulación sanguínea cambiará con el avance del embarazo. Cuando la placenta madura, los capilares aumentan y la resistencia alrededor de los vasos sanguíneos disminuye, promoviendo así el flujo sanguíneo a medida que aumenta la cantidad, puede



proporcionar más oxígeno al feto. En los casos de trastornos hipertensivos del embarazo, se presentan espasmos en las arteriolas, lo cual aumenta la permeabilidad de los vasos sanguíneos y un aumento en la exudación vascular y hemoconcentración, por lo que la mujer embarazada se encuentra en un estado de hipercoagulabilidad. A medida que el trastorno hipertensivo empeora, aumenta el volumen de glóbulos rojos y viscosidad de la sangre, también incrementa el grado de oclusión vascular lo que provoca hipoxia en el feto. (26)

## RELACIÓN ENTRE LA INTERPRETACIÓN DEL REGISTRO CARDIOTOCOGRÁFICO Y LA ASFIXIA PERINATAL

La cardiotocografía, como método de monitorización fetal, juega un papel crítico en la detección temprana de estados de hipoxia que podrían desencadenar asfixia perinatal. Este punto es esencial en la evaluación del bienestar fetal, especialmente durante el trabajo de parto.

Diversos estudios han analizado la correlación entre anomalías detectadas en los trazados de CTG y los resultados clínicos adversos como la asfixia perinatal. Las desaceleraciones tardías y las bradicardias, por ejemplo, se han asociado con mayores riesgos de puntajes bajos en la escala de Apgar y alteraciones en los gases de cordón umbilical. Sin embargo, la interpretación de estos trazados debe ser cautelosa, ya que la presencia de un trazado patológico no siempre indica daño fetal, ni un trazado normal excluye completamente el riesgo.(27)(28)

La eficacia de la CTG para predecir asfixia perinatal ha sido un tema de considerable debate. La sensibilidad (capacidad de detectar correctamente a los fetos en riesgo) varía ampliamente entre estudios, con algunas investigaciones reportando



valores tan bajos como el 50%. La especificidad (capacidad de identificar correctamente a los fetos no en riesgo) tiende a ser más alta, lo que indica que un resultado normal es tranquilizador, aunque no infalible.(29)

El valor predictivo de la CTG para la asfixia perinatal también ha sido cuestionado. Aunque un trazado patológico incrementa la probabilidad de asfixia perinatal, la mayoría de los fetos con estos trazados no sufrirán asfixia clínicamente significativa. Esto lleva a intervenciones posiblemente innecesarias, como cesáreas de emergencia, que conllevan sus propios riesgos.

La educación en registro cardiotocográfico no es una parte rutinaria del plan de estudios en las facultades de medicina, sino que es incluido en los programas de pregrado y posgrado en obstetricia y ginecología. La interpretación humana tiene una larga curva de aprendizaje porque la interpretación requiere una notable cantidad de experiencia, así como conocimientos previos. La información teórica por sí sola, es insuficiente la mayor parte del tiempo. Tratar con pacientes reales, RCTG reales y situaciones críticas proporciona mucha experiencia para los médicos. En muchas ocasiones los médicos toman decisiones críticas basadas no únicamente en conocimientos teóricos sino también años de experiencia. En particular, los médicos y parteras sin experiencia son fácilmente propensos a cometer errores durante la evaluación del registro cardiotocográfico y la toma de decisiones equivocada. (7)

## PERFIL BIOFÍSICO

El perfil biofísico (PBF) es una herramienta clínica valiosa que se utiliza para evaluar el bienestar fetal, especialmente en el tercer trimestre del embarazo. Consiste en una serie de pruebas que miden la salud del feto mediante la observación de sus



movimientos, tono muscular, y la cantidad de líquido amniótico, junto con la reactividad de la frecuencia cardíaca fetal. (4)

1. Movimientos Corporales Fetales:

- Se evalúa la cantidad de movimientos activos del feto. Una disminución en la actividad puede ser indicativa de un estado fetal no óptimo y posiblemente de asfixia.

2. Movimientos Respiratorios Fetales:

- Se observa la frecuencia y profundidad de los movimientos respiratorios simulados del feto. La ausencia o disminución de estos movimientos puede sugerir hipoxia fetal.

3. Tono Fetal:

- Este elemento evalúa los cambios en el tono muscular del feto, como la extensión y flexión de extremidades. Un tono reducido puede indicar una posible asfixia perinatal.

4. Reactividad de la Frecuencia Cardíaca Fetal:

- Similar a la cardiotocografía, se monitoriza la frecuencia cardíaca fetal en respuesta a los movimientos del feto. La falta de reactividad es un signo preocupante que puede indicar estrés fetal.

5. Volumen de Líquido Amniótico:

- Se mide la cantidad de líquido amniótico, que es crucial para el movimiento adecuado del feto y también sirve como un indicador de su salud. Un volumen reducido de líquido amniótico está asociado con un mayor riesgo de asfixia perinatal.



El perfil biofísico se puntúa sobre un total de 10 puntos, con 2 puntos asignados a cada uno de los cinco parámetros mencionados anteriormente. Un puntaje de 8-10 se considera normal, suponiendo que el líquido amniótico es adecuado. Un puntaje de 6 puede ser preocupante, especialmente si el líquido amniótico es bajo, y generalmente requiere una evaluación adicional y posible intervención. Un puntaje de 4 o menos es muy preocupante y sugiere un alto riesgo de asfixia perinatal, lo que justifica intervenciones inmediatas, como la hospitalización o el parto.(30)(31)

El perfil biofísico es particularmente útil en embarazos de alto riesgo, como aquellos con sospecha de restricción del crecimiento fetal, hipertensión gestacional, diabetes gestacional, y en situaciones donde la cardiotocografía ha dado resultados no concluyentes. Proporciona una visión holística que, cuando se combina con otros métodos de evaluación, puede mejorar significativamente la precisión en la detección de fetos en riesgo de asfixia perinatal.(32)

Este método de evaluación subraya la importancia de una vigilancia fetal multidimensional en el manejo de embarazos complicados, ayudando a prevenir resultados adversos tanto para la madre como para el bebé.

## MUESTREO DE SANGRE FETAL

El muestreo de sangre fetal consiste en tomar una muestra de sangre del cuero cabelludo del feto durante el trabajo de parto, en combinación con la cardiotocografía, para evaluar su bienestar. Este procedimiento mide los niveles de pH Y lactato de la sangre fetal, proporcionando información sobre la oxigenación del bebé. Aunque este método puede guiar decisiones clínicas sobre el manejo del parto, es un proceso incómodo para la mujer ya que requiere una punción en la piel del bebé por vía vaginal.



Existe incertidumbre sobre su eficacia para predecir resultados tanto para el bebé como para la madre y su uso varía considerablemente. (4)

## ULTRASONIDO DOPPLER

El ultrasonido Doppler es una herramienta no invasiva que permite evaluar el flujo sanguíneo en las arterias fetales, proporcionando información crucial sobre la salud del feto. En particular, el estudio Doppler de las arterias fetales, como la arteria umbilical y la arteria cerebral media, ha demostrado ser útil en la predicción de la asfixia perinatal, una condición grave que puede resultar en daños neurológicos permanentes o la muerte del feto.

### Arteria umbilical:

El estudio de la arteria umbilical mediante Doppler es uno de los más comunes y proporciona información valiosa sobre la resistencia placentaria. La resistencia aumentada en esta arteria, indicada por índices de pulsatilidad (PI) y de resistencia (RI) elevados, puede ser un signo de insuficiencia placentaria, lo cual es un factor de riesgo significativo para la asfixia perinatal. Diversos estudios han mostrado que un flujo diastólico ausente o reverso en la arteria umbilical se asocia con un riesgo elevado de morbilidad y mortalidad perinatal.

### Arteria cerebral media:

La evaluación de la arteria cerebral media mediante Doppler se centra en el índice de pulsatilidad y el índice cerebro-placentario (ICP), que es la relación entre los índices de la arteria cerebral media y la arteria umbilical. Un ICP reducido puede indicar una redistribución del flujo sanguíneo hacia el cerebro fetal, conocido como "brain-sparing



effect", una adaptación compensatoria a la hipoxia crónica. Este hallazgo puede predecir la asfixia perinatal y se ha asociado con un mayor riesgo de resultados adversos.(33)

La evaluación del índice cerebroplacentario se utiliza para detectar y evaluar la respuesta fetal a la deficiencia de oxígeno en el útero. Con el avance del embarazo, la resistencia en la circulación fetal disminuye gradualmente. Sin embargo, los valores del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media deben permanecer más altos que el índice de pulsatilidad de la arteria umbilical, lo que implica que el índice cerebroplacentario debe ser mayor que 1-1.1 en embarazos no complicados. Se ha demostrado que una proporción cerebro placentaria baja se asocia con un mayor riesgo de muerte fetal, independientemente de la gestación o el peso fetal. (34)(35)

Numerosos estudios han validado la utilidad del Doppler en la predicción de la asfixia perinatal, demostrando que los índices anormales en la arteria umbilical y la arteria cerebral media se correlacionan significativamente con resultados adversos perinatales, incluidos APGAR bajo, acidosis neonatal y admisión a la unidad de cuidados intensivos neonatales. La implementación de estas técnicas ha permitido una mejor vigilancia y manejo de embarazo de alto riesgo. La identificación temprana de fetos en riesgo de asfixia perinatal puede guiar decisiones críticas sobre la intervención oportuna, como la inducción del parto o la cesárea mejorando así los resultados perinatales.

A pesar de su utilidad, el ultrasonido Doppler no está exento de limitaciones. La interpretación de los resultados puede ser también subjetiva dependiente de la experiencia del operador. Además, factores como la posición fetal y la calidad del equipo pueden influir en la precisión de las mediciones. Por lo tanto, es crucial combinar los



hallazgos Doppler con otros métodos de evaluación fetal como la cardiotocografía y el perfil biofísico.

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

Recapitulando los métodos tradicionales de monitoreo fetal; el ultrasonido Doppler se utiliza para evaluar el flujo sanguíneo en los vasos fetales y placentarios, proporcionando información sobre la salud y el desarrollo del feto. La cardiotocografía, por otro lado, monitorea la frecuencia cardíaca fetal y las contracciones uterinas, ayudando a identificar signos de sufrimiento fetal. Aunque estas técnicas son efectivas, pueden ser limitadas por factores como la variabilidad del observador y la necesidad de interpretación experta.

La inteligencia artificial tiene el potencial de transformar el monitoreo del bienestar fetal al proporcionar análisis más precisos y consistentes. Los algoritmos de IA pueden ser entrenados para analizar grandes cantidades de datos de ultrasonido doppler y cardiotocografía, identificando patrones que pueden no ser evidentes por el personal médico.

La aplicación del sistema médico de IA en el procesamiento de imágenes reduce la incidencia de accidentes clínicamente peligrosos. (26)

## **MARCO CONCEPTUAL**

### Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO)

Ha desarrollado instrucciones detalladas para la interpretación de la cardiotocografía (CTG) con el fin de estandarizar la práctica a nivel global y mejorar los resultados obstétricos. Estas directrices son esenciales porque buscan reducir la



variabilidad en la interpretación de los trazados de CTG, un problema común que puede afectar la calidad del cuidado y la toma de decisiones clínicas(10)

## **Clasificación de los Trazados de CTG**

La FIGO clasifica los trazados de CTG en tres categorías principales:

- **Normal:** Un trazado normal indica que es muy improbable que el feto esté acidémico en ese momento. Los parámetros incluyen una frecuencia cardíaca basal de 110 a 160 latidos por minuto, variabilidad basal de 5 a 25 latidos por minuto, y la presencia de aceleraciones. No debe haber desaceleraciones significativas.
- **Sospechoso:** Un trazado sospechoso requiere una vigilancia continua y una reevaluación frecuente. Puede incluir una frecuencia cardíaca basal ligeramente fuera del rango normal, variabilidad reducida sin desaceleraciones significativas, o desaceleraciones episódicas que no son recurrentes.
- **Patológico:** Un trazado patológico sugiere un riesgo significativo de acidemia fetal y necesita intervención inmediata. Esto puede incluir una frecuencia cardíaca basal extremadamente alta o baja, variabilidad reducida con desaceleraciones recurrentes tardías o variables, y ausencia de aceleraciones.(10)

## **Interpretación y Manejo**

- **Evaluación Inicial:** La FIGO recomienda que cualquier evaluación de un trazado de CTG comience con una evaluación clínica completa, que incluye la historia de la embarazada, medicación actual, y el contexto obstétrico. Esta evaluación puede influir en la interpretación del trazado y la decisión de intervención.



- **Monitorización Continua:** En casos de trazados sospechosos o patológicos, la FIGO sugiere monitorización continua y evaluación frecuente para determinar si se observa una mejora en el trazado o si es necesario intervenir para el parto, ya sea mediante parto vaginal acelerado o cesárea.
- **Uso de Pruebas Adicionales:** En situaciones donde el trazado es difícil de interpretar o si hay preocupaciones clínicas adicionales, la FIGO aconseja el uso de pruebas adicionales como la estimulación fetal, ecografía Doppler, o análisis de gases en sangre de cordón umbilical para obtener más información sobre el bienestar fetal.

### **Formación y Educación**

- **Capacitación:** La FIGO enfatiza la importancia de una formación adecuada en la interpretación de los trazados de CTG para todos los proveedores de cuidado de la salud involucrados en el manejo del trabajo de parto. La formación continua y la certificación deben ser normas dentro de las instituciones que utilizan la CTG.
- **Interpretación Consistente:** Para minimizar la variabilidad entre los intérpretes, la FIGO recomienda el uso de un lenguaje estandarizado y protocolos claros para la descripción e interpretación de los trazados de CTG.

Estas directrices son parte del esfuerzo continuo de la FIGO para mejorar la calidad de la atención obstétrica y los desenlaces perinatales mediante la estandarización de prácticas basadas en evidencia científica. La correcta implementación de estas recomendaciones ayuda a asegurar que las decisiones clínicas se tomen con una base sólida, maximizando la seguridad tanto del neonato como de la madre.(10)



## Colegio Americano de Obstetras y Ginecólogos (ACOG)

Categoriza los trazados CTG en tres grupos, similar a la FIGO, pero con algunas diferencias en los detalles específicos:

- Categoría I (Normal): Trazados que son tranquilizadores y no requieren intervención específica. Incluyen una frecuencia cardíaca basal de 110 a 160 latidos por minuto, variabilidad moderada, no desaceleraciones tardías o variables significativas, y pueden incluir aceleraciones o desaceleraciones tempranas.
- Categoría II (Indeterminada): Trazados que no son lo suficientemente anormales para clasificarse como patológicos, pero tampoco lo suficientemente normales para ser considerados completamente sin riesgo. Esta categoría requiere vigilancia y reevaluación continua.
- Categoría III (Anormal): Trazados que son claramente patológicos y sugieren un estado de compromiso fetal. Incluyen patrones como bradicardia sin variabilidad, desaceleraciones tardías recurrentes, o desaceleraciones variables recurrentes con pérdida de la variabilidad.(9)

### **Interpretación y Manejo**

- Manejo Basado en la Categoría: ACOG recomienda intervenciones específicas basadas en la categoría del trazado CTG:
  - Categoría I: Continuar la monitorización de rutina.
  - Categoría II: Aumentar la vigilancia, considerar intervenciones intrauterinas para mejorar el estado fetal (como cambios de posición, administración de oxígeno a la madre, etc.), y preparar para intervención si no hay mejoría o si el trazado empeora.



- Categoría III: Requiere intervención inmediata para entregar al feto, generalmente sugiriendo preparativos para una cesárea de emergencia o parto vaginal expedito si es viable.

### **Uso de CTG en Conjunto con Otras Pruebas**

ACOG subraya la importancia de no depender exclusivamente del CTG para tomar decisiones críticas y recomienda combinarlo con otras formas de evaluación fetal, como:

- Pruebas de bienestar fetal, incluyendo perfil biofísico o doppler umbilical.
- Pruebas de estimulación fetal para evaluar la reactividad del feto.

### **Educación y Capacitación**

ACOG enfatiza la necesidad de educación continua y entrenamiento adecuado para todos los profesionales que interpretan trazados CTG. La interpretación adecuada es crucial y debe ser realizada por individuos entrenados para reducir la variabilidad en la interpretación y mejorar los desenlaces clínicos.

- ACOG sugiere el uso de CTG para la monitorización intraparto en embarazos de alto riesgo y en aquellos con complicaciones que puedan afectar el estado fetal.
- Las guías ACOG también discuten la limitada predictibilidad de la CTG para determinar asfixia perinatal y recomiendan un enfoque conservador para evitar intervenciones innecesarias basadas únicamente en trazados CTG anormales.

### **Instituto Nacional de Salud y Excelencia Clínica (NICE) del Reino Unido**

Proporciona directrices detalladas para la interpretación del registro cardiotocográfico (CTG), especialmente enfocadas en la monitorización durante el



trabajo de parto. Estas directrices son diseñadas para apoyar a los profesionales de la salud en la toma de decisiones basadas en la mejor evidencia disponible, con el objetivo de mejorar tanto la seguridad de las madres como la de los recién nacidos.(11)

NICE recomienda la utilización de la CTG durante el trabajo de parto en casos donde existe un aumento del riesgo de complicaciones. Esto incluye situaciones como:

- Embarazos con condiciones preexistentes de la madre, como hipertensión o diabetes.
- Embarazos donde se sospecha compromiso fetal.
- Trabajo de parto inducido o acelerado.

Al igual que otras organizaciones, NICE categoriza los trazados de CTG para facilitar la interpretación y las decisiones clínicas:

- Normal: Trazados que no muestran signos de compromiso fetal. Estos trazados tienen una frecuencia cardíaca basal de 110 a 160 latidos por minuto, variabilidad normal de la frecuencia cardíaca, aceleraciones presentes y ausencia de desaceleraciones patológicas.
- No tranquilizador: Trazados que muestran características que requieren vigilancia estrecha y reevaluación, incluyendo variabilidad reducida sin desaceleraciones o con desaceleraciones intermitentes.
- Anormal: Trazados que sugieren un compromiso fetal significativo y que requieren intervenciones inmediatas, como desaceleraciones repetidas o prolongadas, bradicardia sostenida, o una combinación de baja variabilidad y desaceleraciones.



## Respuestas a los Trazados CTG

- Para trazados normales: Continuar la monitorización rutinaria.
- Para trazados no tranquilizadores: Aumentar la monitorización y considerar intervenciones para mejorar el estado fetal, como cambios en la posición de la madre, hidratación o administración de oxígeno.
- Para trazados anormales: Intervención inmediata necesaria. Esto podría incluir la preparación para el parto instrumental o por cesárea.

NICE aconseja que la CTG no debe usarse de forma aislada para tomar decisiones clínicas durante el trabajo de parto. Debe ser parte de una evaluación más amplia que incluya:

- Evaluaciones clínicas de la madre y el feto.
- Consideración de otros métodos de evaluación como pruebas de pH de cuero cabelludo fetal si los trazados son preocupantes y no se resuelven con intervenciones iniciales.

Las recomendaciones de NICE buscan equilibrar la necesidad de intervención rápida en casos de potencial compromiso fetal con el objetivo de reducir intervenciones innecesarias que puedan resultar en morbilidad materna y fetal. Como tal, proporcionan un marco detallado que apoya la toma de decisiones clínicas informadas y basadas en evidencia en el contexto del trabajo de parto.(11)

## Meta-análisis y Revisiones Sistemáticas

- Varios meta-análisis han evaluado la efectividad de la CTG, encontrando que, aunque puede reducir la incidencia de convulsiones neonatales, no tiene un



impacto significativo en la reducción de la mortalidad perinatal o en la incidencia de parálisis cerebral.

- Las revisiones sistemáticas sugieren que el uso combinado de CTG y pruebas de perfil biofísico puede mejorar la capacidad de detectar fetos en riesgo de asfixia, recomendando un manejo más individualizado basado en múltiples indicadores de estrés fetal (36)

## Protocolos de Actuación Basados en Evidencia

### Intervenciones Recomendadas

- En caso de trazados patológicos, las guías recomiendan intervenciones inmediatas, como la optimización de la oxigenación materna, cambios en la posición de la madre y, si no hay mejora, preparación para el parto quirúrgico.
- Se enfatiza la importancia de la capacitación y educación continua de los profesionales de salud en la interpretación de la CTG, dado que la variabilidad inter e intra-observador puede influir significativamente en los desenlaces clínicos.

Uno de los aspectos más estudiados en los metaanálisis es la sensibilidad y especificidad del RCTG para predecir asfixia perinatal. La sensibilidad del RCTG para detectar asfixia perinatal se ha informado en un rango variable, a menudo mostrando una baja capacidad para predecir asfixia antes de que ocurran signos clínicos. Por otro lado, la especificidad tiende a ser más alta, indicando que un trazado normal es generalmente un buen indicador de que el feto no está en peligro inminente.(37)

Diversos estudios han analizado si el uso del RCTG tiene un impacto directo en la reducción de la mortalidad perinatal y morbilidades graves como la encefalopatía



hipóxico-isquémica. Los resultados son mixtos, con algunos estudios que no muestran una reducción significativa en la mortalidad perinatal o en la incidencia de parálisis cerebral. Sin embargo, el uso del RCTG puede estar asociado con una reducción en la incidencia de convulsiones neonatales, una complicación grave de la asfixia perinatal.(38)(39)

El metaanálisis en la base de datos Cochrane en 2020 revisó estudios previos sobre la efectividad del registro cardiotocográfico (RCTG) en la labor de parto. Los hallazgos confirman que el RCTG puede reducir la incidencia de convulsiones neonatales, pero no tiene un impacto significativo en la reducción de la mortalidad perinatal o la incidencia de parálisis cerebral. Estos resultados sugieren que el RCTG es útil para detectar ciertos problemas neonatales, pero su capacidad para prevenir resultados perinatales adversos más graves es limitada.

En cuanto al análisis del segmento ST (STan) combinado con RCTG, un estudio reciente mostró una disminución en la incidencia de acidosis metabólica en neonatos, lo que sugiere que la incorporación de tecnologías adicionales podría mejorar la capacidad predictiva del RCTG tradicional. Sin embargo, este enfoque no redujo las tasas de cesárea ni de partos instrumentales, indicando que mientras puede mejorar la precisión diagnóstica para ciertas condiciones, su efecto en la reducción de intervenciones invasivas es menos claro.

Estos estudios resaltan la necesidad de un enfoque combinado que integre RCTG con otras tecnologías de monitorización para mejorar la precisión en el diagnóstico y manejo de la asfixia perinatal y otros problemas relacionados con el parto.



Las guías actuales recomiendan el uso de la CTG en conjunto con otras modalidades de evaluación fetal, incluidos los exámenes físicos maternos, la ultrasonografía y, cuando esté indicado, pruebas de bienestar fetal como el perfil biofísico. El enfoque combinado aumenta la precisión diagnóstica y ayuda a evitar tanto intervenciones innecesarias como resultados perinatales adversos.(4)(40)

AÑO	AUTOR	DISEÑO	TIPO DE ESTUDIO	HIPÓTESIS O OBJETIVO	POBLACIÓN DE ESTUDIO	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
2023	Riveiro, M. Institute for Systems and Computer Engineering, Technology and Science (INESC-TEC), Porto, Portugal(41)	Retrospectivo	Observacional analítico	Desarrollar modelos predictivos de asfixia perinatal basados en parámetros clínicos e índices de frecuencia cardíaca fetal	517 pacientes con gestaciones únicas	Los modelos de predicción de asfixia mostraron resultados prometedores, con un área bajo la curva característica del operador receptor >70%. Los mejores modelos combinaban características clínicas y de SisPorto. El mejor modelo fue el BLR univariado	El modelo con mejor desempeño para predecir la asfixia perinatal fue el BLR univariado con la variable CR2, lo que demuestra la importancia de los índices no lineales en la detección de la asfixia perinatal.
2020	Locatelly, A. BMC Pregnancy Childbirth.(39)	Observacional	Prospectivo de cohorte	evaluar la asociación entre la asfixia perinatal y la encefalopatía hipóxico- isquémica (EHI) con la presencia de factores de riesgo ante e intraparto y/o hallazgos anormales de frecuencia cardíaca fetal	281 recién nacidos asfixiados	La asfixia perinatal ocurrió en 21,5% casos y encefalopatía hipóxico- isquémica en 1.1%. Los embarazos que resultaron en neonatos asfixiados se clasificaron en clase 1) 1,1%, 2) 52,3%, 3) 3,2% y 4) 43,4%. La FCF fue de categoría II o III en el 50,5% de los casos. El 40,2% de los casos de asfixia y el 18,8% de los casos de EHI no fueron precedidos	La monitorización de la FCF por sí sola no es una herramienta confiable para detectar la probabilidad de una eventual asfixia.

						por eventos centinela o FCF anormal.	
2020	Kumar,N. Journal of Mother and Child(40)	Prospectivo	Observacional analítico	Evaluar el papel de la CTG al ingreso en la predicción de la hipoxia fetal en mujeres prenatales a término durante el ingreso a la sala de partos y correlacionar los resultados con los resultados perinatales y maternos.	100 mujeres prenatales a término ingresadas en la sala de partos en la primera etapa del trabajo de parto	La CTG anormal se asoció significativamente con resultados perinatales adversos, incluidas puntuaciones deficientes de Apgar al minuto ( $p < 0,05$ ), necesidad de reanimación e ingreso a la UCIN. La especificidad y el valor predictivo negativo de la CTG al ingreso en los grupos de bajo y alto riesgo fueron del 97,9% y 93,6%, y del 85,0% y 85,0%, respectivamente.	La CTG al ingreso es una técnica eficaz, económica y no invasiva para detectar hipoxia fetal en embarazos de bajo y alto riesgo en países en desarrollo con una mayor carga de trabajo.
2010	Malin,G. CME.(37)	Revisión sistemática y metaanálisis	Diseños de cohortes y de casos y controles	Evaluar la asociación entre el pH del cordón umbilical al nacer y los resultados a largo plazo.	51 artículos con un total de 481.753 lactantes	dentro de grupos predefinidos mostró que el pH bajo del cordón arterial se asoció significativamente con la mortalidad neonatal (odds ratio 16,9, intervalo de confianza del 95%: 9,7 a 29,5, $I(2)=0\%$ ), encefalopatía isquémica hipóxica (13,8, 6,6 a 28,9, $I(2)=0\%$ ), hemorragia intraventricular o leucomalacia periventricular (2,9, 2,1 a 4,1, $I(2)=0\%$ ), y parálisis cerebral	El pH bajo del cordón arterial mostró asociaciones fuertes, consistentes y temporales con resultados neonatales clínicamente importantes que son biológicamente plausibles. Estos datos se pueden utilizar para informar el manejo clínico y justificar el uso del pH del cordón arterial como una medida de resultado importante junto



						(2,3, 1,3 a 4,2, I(2)=0%) .	con la morbilidad y mortalidad neonatal en ensayos obstétricos.
2022	Kanagal, D. Journal of South Asian Federation of Obstetrics and Gynaecology(42)	Prospectivo	Estudio de cohorte	Correlacionar los hallazgos no tranquilizadores de la CTG con el pH de la arteria umbilical y el resultado neonatal.	255 mujeres embarazadas en trabajo de parto con CTG no tranquilizadora.	Los sujetos con CTG patológica tuvieron más bebés con pH del cordón umbilical bajo en comparación con CTG sospechosa (62,6 frente a 26,4%). El 55% de los bebés con pH <7,2 necesitaron ingreso en una unidad de cuidados intensivos neonatales (UCIN), en comparación con el 11,6% con pH normal	La detección y el tratamiento del compromiso fetal lo antes posible es de suma importancia. Aunque la cardiocografía es una prueba sencilla para analizar la condición fetal, es una buena práctica analizar el pH de la sangre del cordón umbilical para encontrar recién nacidos con acidosis y prevenir complicaciones.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La asfixia perinatal es una condición grave que puede tener consecuencias a largo plazo para el recién nacido, incluyendo daño neurológico y muerte. La capacidad de predecir de manera precisa la asfixia perinatal es crucial para intervenir oportunamente y mejorar los resultados neonatales. Sin embargo, la precisión del RCTG para predecir la asfixia perinatal ha sido cuestionada. Algunas investigaciones sugieren que el RCTG tiene una alta tasa de falsos positivos y falsos negativos, lo que podría llevar a intervenciones innecesarias o a la falta de intervención cuando es necesaria.

Existen discrepancias significativas en la literatura médica respecto a la eficacia del RCTG:



-Alta Tasa de Falsos Positivos y Negativos: Algunos estudios indican que el RCTG puede llevar a un gran número de falsos positivos, lo que resulta en intervenciones innecesarias como cesáreas de emergencia. Por otro lado, también puede haber falsos negativos, donde la asfixia perinatal no se detecta adecuadamente, poniendo en riesgo al feto.

-Variabilidad en la Interpretación: La interpretación del RCTG puede ser subjetiva y varía entre los médicos que lo interpretan, lo que contribuye a la inconsistencia en los resultados.

-Comparación con Otros Métodos: Hay otros métodos de monitoreo fetal, como el perfil biofísico y el Doppler de las arterias umbilicales, que algunos estudios sugieren podrían ser más fiables o complementarios al RCTG.

-Evidencia Clínica vs. Práctica: Aunque el RCTG es una práctica estándar en muchos hospitales, la evidencia sobre su eficacia como predictor de asfixia perinatal no es concluyente, lo que plantea dudas sobre su uso rutinario.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

La asfixia perinatal es una complicación obstétrica significativa que afecta a numerosos neonatos en todo el mundo. Se estima que entre 2 y 3 de cada 1000 nacimientos en países desarrollados presentan asfixia perinatal, mientras que, en los países en desarrollo, la incidencia puede alcanzar hasta 10 por 1000 nacimientos vivos. Esta condición es una causa principal de mortalidad y morbilidad neonatal, contribuyendo a un alto porcentaje de muertes neonatales y discapacidades a largo plazo, como parálisis cerebral, retraso mental y problemas de desarrollo neurológico.



La trascendencia de la asfixia perinatal radica en su impacto a largo plazo en la salud y el desarrollo de los niños afectados. Las implicaciones inmediatas incluyen la necesidad de reanimación y cuidados intensivos neonatales, mientras que las consecuencias permanentes pueden afectar la calidad de vida del individuo y su familia. Los costos económicos asociados con el manejo de estas complicaciones son significativos, incluyendo cuidados médicos continuos, terapias de rehabilitación y apoyo educativo especial.

La vulnerabilidad al problema de la asfixia perinatal varía según varios factores, incluyendo el acceso a cuidados prenatales y perinatales de calidad, la presencia de factores de riesgo maternos como hipertensión, diabetes gestacional y anomalías placentarias, y la capacidad de respuesta del sistema de salud durante el parto. Las poblaciones en áreas rurales y de bajos recursos son particularmente vulnerables debido a la falta de infraestructura médica adecuada y personal capacitado.

El alcance del problema de la asfixia perinatal es amplio, afectando tanto a los neonatos como a sus familias y al sistema de salud en general. Las áreas más afectadas incluyen las unidades de cuidados intensivos neonatales, servicios de rehabilitación pediátrica y programas de educación especial. La identificación temprana y el manejo adecuado de la asfixia perinatal son cruciales para minimizar las secuelas a largo plazo.

Las causas de la asfixia perinatal son multifactoriales e incluyen complicaciones durante el parto, como desprendimiento prematuro de placenta, prolapso de cordón umbilical y distocia de hombros; factores maternos, como hipertensión, diabetes gestacional e infecciones intrauterinas; anomalías placentarias como insuficiencia



placentaria y placenta previa; y problemas fetales como restricción del crecimiento intrauterino y malformaciones congénitas.

Las soluciones para prevenir y manejar la asfixia perinatal incluyen el monitoreo fetal ante parto e intraparto mediante el uso del registro cardiotocográfico (RCTG) para detectar signos tempranos de sufrimiento fetal, intervenciones obstétricas oportunas como cesáreas de emergencia o partos asistidos, la mejora en la atención prenatal y la capacitación del personal de salud en técnicas de reanimación neonatal y manejo de emergencias obstétricas. Sin embargo, la eficacia de estas soluciones varía. El RCTG es ampliamente utilizado, pero su precisión como predictor de asfixia perinatal es cuestionada debido a la alta tasa de falsos positivos y negativos. Las intervenciones obstétricas oportunas pueden ser efectivas, pero también pueden llevar a un aumento en las tasas de cesáreas innecesarias. La mejora en la atención prenatal y la capacitación del personal de salud han demostrado ser efectivas para reducir la incidencia de asfixia perinatal en diversas regiones.

A pesar de los avances en el manejo de la asfixia perinatal, hay varios aspectos que requieren mayor investigación. La precisión del RCTG necesita ser evaluada y mejorada, desarrollando criterios más precisos para la identificación de asfixia perinatal. También es importante evaluar métodos alternativos y complementarios al RCTG, como el perfil biofísico y el Doppler de las arterias umbilicales. Además, se debe investigar más a fondo la interacción de múltiples factores de riesgo maternos y su impacto en la asfixia perinatal, así como desarrollar y evaluar programas preventivos para reducir la incidencia de esta condición, especialmente en poblaciones de alto riesgo.



La identificación y manejo efectivo de la asfixia perinatal siguen siendo desafíos clínicos significativos. Aunque el RCTG es una herramienta útil, su precisión y fiabilidad como predictor de asfixia perinatal necesitan ser evaluadas y mejoradas. La investigación continua y la implementación de soluciones basadas en evidencia son cruciales para mejorar los resultados perinatales y reducir la carga de esta condición en los sistemas de salud y las familias.

## **JUSTIFICACIÓN**

La asfixia perinatal representa una complicación significativa durante el parto, que afecta aproximadamente a 1 de cada 1,000 recién nacidos a término en países desarrollados, con tasas considerablemente más altas en entornos de bajos recursos. La asfixia puede llevar a consecuencias graves y a largo plazo, incluyendo daño neurológico, discapacidades del desarrollo, y en casos severos, la muerte neonatal. La detección temprana y precisa de la asfixia es crítica para implementar intervenciones que puedan mejorar los resultados neonatales.

El registro cardiotocográfico fetal es una herramienta diagnóstica utilizada de manera rutinaria para evaluar el bienestar fetal durante el parto. Este monitoreo permite la detección temprana de patrones anormales en la frecuencia cardíaca fetal, lo cual puede ser indicativo de estrés o asfixia. A pesar de su uso extendido, la eficacia de la cardiotocografía como un predictor confiable de asfixia perinatal ha sido objeto de debate, debido a su variabilidad interpretativa y la posibilidad de resultados falsos positivos o negativos, que pueden conducir a intervenciones innecesarias o a la falta de acciones necesarias respectivamente.



El diagnóstico inexacto de asfixia perinatal no solo impacta la salud del neonato y su familia, sino que también tiene implicaciones económicas significativas para el sistema de salud. Las intervenciones innecesarias, como cesáreas de emergencia, y los cuidados intensivos postnatales representan un costo considerable. Por otro lado, un diagnóstico erróneo o tardío puede aumentar la necesidad de tratamientos a largo plazo para problemas neurológicos, incrementando así la carga financiera y emocional sobre las familias y la sociedad.

Esta investigación busca evaluar la eficacia de la cardiotocografía, utilizando medidas objetivas como la gasometría de cordón umbilical y los puntajes de Apgar, para proporcionar un marco de referencia más claro sobre su utilidad y precisión. Al establecer la eficacia del registro cardiotocográfico fetal, este estudio podría llevar a la mejora de protocolos y prácticas clínicas, optimizando así el uso de intervenciones médicas durante el parto y mejorando los resultados neonatales.

Además, podría contribuir a la educación médica continua y a la toma de decisiones basadas en evidencia en la práctica obstétrica.

Concluir esta investigación no solo ayudará a validar o cuestionar la eficacia del registro cardiotocográfico fetal, sino que también proporcionará una base para futuras investigaciones y desarrollos en la monitorización fetal, con el potencial de mejorar significativamente la calidad del cuidado perinatal y los resultados de salud neonatal.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis Nula (H0):**

No hay una asociación significativa entre las alteraciones en el registro cardiotocográfico identificadas como estado fetal incierto y la presencia de asfixia



perinatal, medida a través de parámetros como el índice de Apgar y la gasometría neonatal.

### Hipótesis Alternativa (H1):

Existe una asociación significativa entre las alteraciones en el registro cardiotocográfico identificadas como estado fetal incierto y la presencia de asfixia perinatal, medida a través de parámetros como el índice de Apgar y la gasometría neonatal.

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:**

¿Existe una asociación significativa entre las alteraciones en el Registro Cardiotocográfico (RCTG) identificadas como estado fetal incierto y la presencia de asfixia perinatal, y en qué medida los indicadores clínicos como el índice de Apgar y la gasometría neonatal permiten predecir la gravedad de la asfixia perinatal en casos de estado fetal incierto en el Hospital Central del Estado de Chihuahua?

### **OBJETIVOS**

Objetivo General: Evaluar la efectividad del registro cardiotocográfico para predecir y manejar la asfixia perinatal, mediante el análisis de su relación con los puntajes de Apgar y los resultados de la gasometría del cordón umbilical.

#### Objetivos Específicos:

- Determinar el porcentaje de registro cardiotocográfico con alteraciones.
- Determinar la relación del puntaje Silverman Anderson con los parámetros gasométricos que indican asfixia perinatal.
- Determinar la relación de variables maternas con la alteración del registro cardiotocográfico.



## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **TIPO DE ESTUDIO**

Este estudio fue de diseño retrospectivo de cohortes. Se analizaron los registros de todas las cesáreas realizadas por estado fetal incierto, determinado a través de alteraciones en el registro cardiotocográfico, en un periodo de un año. Este diseño permitió evaluar retrospectivamente la asociación entre los hallazgos del registro cardiotocográfico y los resultados perinatales medidos mediante el puntaje de Apgar y los parámetros de la gasometría de cordón umbilical. Se incluyeron en la cohorte todos los casos de cesáreas realizadas por indicación de estado fetal incierto en el Hospital Central del Estado de Chihuahua examinando los registros médicos para recopilar datos sobre los resultados de la gasometría del cordón umbilical y los puntajes de Apgar. Esto proporcionó una comprensión más profunda de la precisión del RCTG para predecir asfixia perinatal y otros resultados neonatales adversos.

### **DISEÑO DE ESTUDIO:**

#### **POBLACIÓN DE ESTUDIO**

Se incluyeron todos los casos de cesáreas realizadas por estado fetal incierto debido a alteraciones en el registro cardiotocográfico (RCTG) en el Hospital Central del Estado de Chihuahua en el periodo comprendido del 1 de marzo 2023 al 1 de marzo 2024.

#### **CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Todas las pacientes que terminaron en cesárea por indicación de estado fetal incierto determinado por alteración en el registro cardiotocográfico.
- Pacientes con embarazo de edad gestacional de 32.1 semanas a 41 semanas



- Disponibilidad de datos completos de RCTG, resultados de gasometría de cordón umbilical y puntajes de Apgar.

### CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Casos donde no se evidenció adecuadamente la interpretación del registro cardiotocográfico
- Casos en donde no se tomó gasometría de cordón umbilical.
- Casos donde la cesárea se realizó por razones no relacionadas con el estado fetal
- Pacientes con embarazo menor a 32.1 semanas de gestación o mayor a 41 semanas de gestación

### TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para determinar el tamaño de muestra adecuado para este estudio, se consideró una población finita de 126 pacientes que fueron sometidas a cesárea por estado fetal incierto en el periodo de estudio. Se utilizó una fórmula de tamaño de muestra para proporciones con corrección para poblaciones finitas, adecuada para garantizar la representatividad de la muestra.

Los parámetros seleccionados para el cálculo fueron con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 8%. La proporción esperada de interés para el parámetro de estudio se estimó en 0.5, dado que proporciona el tamaño de muestra más conservador. Bajo estas condiciones, el tamaño de muestra necesario se calculó en 69 pacientes. Este tamaño de muestra asegura que los resultados obtenidos sean estadísticamente significativos y representativos de la población estudiada.

Este cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula para poblaciones finitas:



$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2 + \left( \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{N} \right)}$$

Z= Valor crítico de Z para un nivel de confianza del 95%: 1.96 que corresponde al percentil 97.5

P= Proporción esperada: 0.5

E= Margen de error: 0.08

N= Tamaño de la población finita: 126 (El número total de pacientes que se sometieron a cesárea por estado fetal incierto del 1 marzo del 2023 al 1 de marzo del 2024)

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)}{(0.08)^2 + \left( \frac{(1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)}{126} \right)}$$

N= 69 pacientes

## VARIABLES

- Dependientes:
  - Gasometría arterial del cordón umbilical (valoración del Ph y exceso de base)
  - Puntuación de APGAR al nacimiento (al minuto y a los 5 minutos)



## VARIABLES DEPENDIENTES

Variable	Definición operacional	Tipo	Escala de medición	Indicador
Gasometría	Valor de un análisis de gases en sangre que determina el porcentaje de oxígeno	Cuantitativa	Continua	Porcentaje
APGAR	Examen rápido al nacimiento del producto para valorar su estado	Cuantitativa	Discreta	Valor de APGAR 1-10

## VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable	Definición operacional	Tipo	Escala de medición	Indicador
Alteración del registro cardiotocográfico	Registro cardiotocográfico con patrón anormal	Cualitativa	Nominal	Alterado o no alterado
Edad de la paciente	Lapso de tiempo que transcurre desde el nacimiento hasta el momento de referencia	Cuantitativa	Discreta	Años
Número de gestas	Número de embarazos que ha tenido la paciente incluyendo el actual	Cuantitativo	Discreto	Número
Cesáreas o partos previos	Número de cesáreas o partos que ha tenido la paciente previos al actual embarazo	Cuantitativo	Discreto	Número



Edad gestacional	Número de semanas del embarazo actual datado por fecha de última menstruación o sonografía	Cuantitativo	Continuo	Número de semanas
Estado hipertensivo asociado al embarazo	Cualquier estado hipertensivo que se presente después de la semana 20 (Hipertensión gestacional, preeclampsia con o sin criterios de severidad, o eclampsia)	Cualitativo	Nominal	Presente o Ausente
Diabetes gestacional o pre gestacional	Presencia de diabetes diagnosticada antes o durante el embarazo.	Cualitativo	Nominal	Presente o Ausente
Sospecha de desprendimiento prematuro de placenta normoincisa	Separación parcial o completa de placenta de la decidua uterina antes del nacimiento del producto	Cualitativo	Nominal	Presente o ausente
Corioamnionitis	Inflamación o infección de la placenta, corion o amnios	Cualitativo	Nominal	Presente o ausente
Prolapso de cordón umbilical	Posición anormal del cordón por delante de la parte de la presentación fetal	Cualitativo	Nominal	Presente o ausente
Manejo con oxitocina	Administración de oxitocina a dosis	Cualitativo	Nominal	Presente o ausente



	respuesta para conducción del trabajo de parto			
Manejo con misoprostol	Administración de misoprostol para inducción del trabajo de parto	Cualitativo	Nominal	Presente o ausente

## RECURSOS

### RECURSOS HUMANOS

- Investigadores y Asistentes de Investigación:

Médicos adscritos y residentes de ginecología los cuales se encargán de la recolección de datos, realizando una interpretación adecuada del registro cardiotocográfico y la toma de muestras de gasometría de cordón umbilical; así como la captura de estos datos.

Médicos del servicio de pediatría para una adecuada valoración de la escala APGAR.

- Personal de laboratorio que procesa muestras de gases arteriales
- Administrativo: Apoyo administrativo para manejar la logística del proyecto, la documentación y la coordinación entre diferentes departamentos y entidades.



## RECURSOS FINANCIEROS

Poner costos y cuantos se necesitan

ARTÍCULO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Jeringa de gasometría	69	\$45	\$3,105
Toco cardiógrafo	6	\$45,000	\$270,000
Computadora	1	\$10,000	\$10,000
Internet	1	\$450 por mes	\$5,400
Equipo de laboratorio para análisis de gases	1	\$50,000	\$50,000
Total			\$338,505

## **METODOLOGÍA OPERACIONAL**

Este fue un estudio observacional, analítico y retrospectivo que buscó evaluar la eficacia del registro cardiotocográfico como predictor de asfixia perinatal.

El estudio utilizó un diseño de cohorte retrospectiva, analizando los expedientes médicos de las pacientes que cumplían con los criterios de inclusión durante el periodo de estudio.

La población de estudio consistió en todas las pacientes que fueron sometidas a cesárea por estado fetal incierto determinado en el registro cardiotocográfico, en el Hospital Central del Estado, en el periodo del 1 de marzo del 2023 al 1 de marzo del 2024. Se revisaron los registros médicos en el expediente clínico para extraer datos sobre las variables dependientes e independientes; se obtuvieron datos sobre la gestación actual, resultados de pruebas de laboratorio y resultados perinatales. Se incluyeron resultados de gasometría arterial del cordón umbilical.



Se utilizó una base de datos diseñada para este estudio, la cual permitió registrar de manera sistemática la información necesaria de cada paciente, dicha información incluyó: datos básicos de la paciente (edad, número de gestas, etc), datos médicos específicos (registro cardiotocográfico, manejo con oxitocina o misoprostol, comorbilidades de la paciente), resultados del estudio de gasometría arterial, resultados de puntuación APGAR al nacimiento.

Los datos fueron digitalizados y codificados en una base de datos segura con acceso restringido; todos los datos serán de carácter anónimo, los identificadores personales serán eliminados y reemplazados con un código único para cada participante.

## **CONSIDERACIONES ÉTICAS**

El estudio se adhiere estrictamente a las normas éticas para la investigación con seres humanos, garantizando la protección y el respeto por la dignidad de los participantes:

- **Aprobación Ética:** Antes de iniciar el estudio, se obtendrá la aprobación del comité de ética de la institución. Este proceso asegura que el estudio cumpla con los estándares éticos internacionales y locales para la investigación médica.
- **Confidencialidad:** Se mantendrá la confidencialidad de todos los datos personales de los pacientes. La información extraída de los registros médicos será anonimizada antes del análisis para proteger la identidad de los pacientes.
- **Uso de Datos Retrospectivos:** Dado que se utilizarán datos retrospectivos, se solicitará una exención de consentimiento informado, sin embargo, el estudio será diseñado para asegurar que no haya riesgos adicionales para los participantes.



- **Transparencia y Divulgación:** Los resultados del estudio se comunicarán de manera transparente, destacando tanto las limitaciones como las implicaciones clínicas, para fomentar la mejora continua en las prácticas de atención obstétrica.

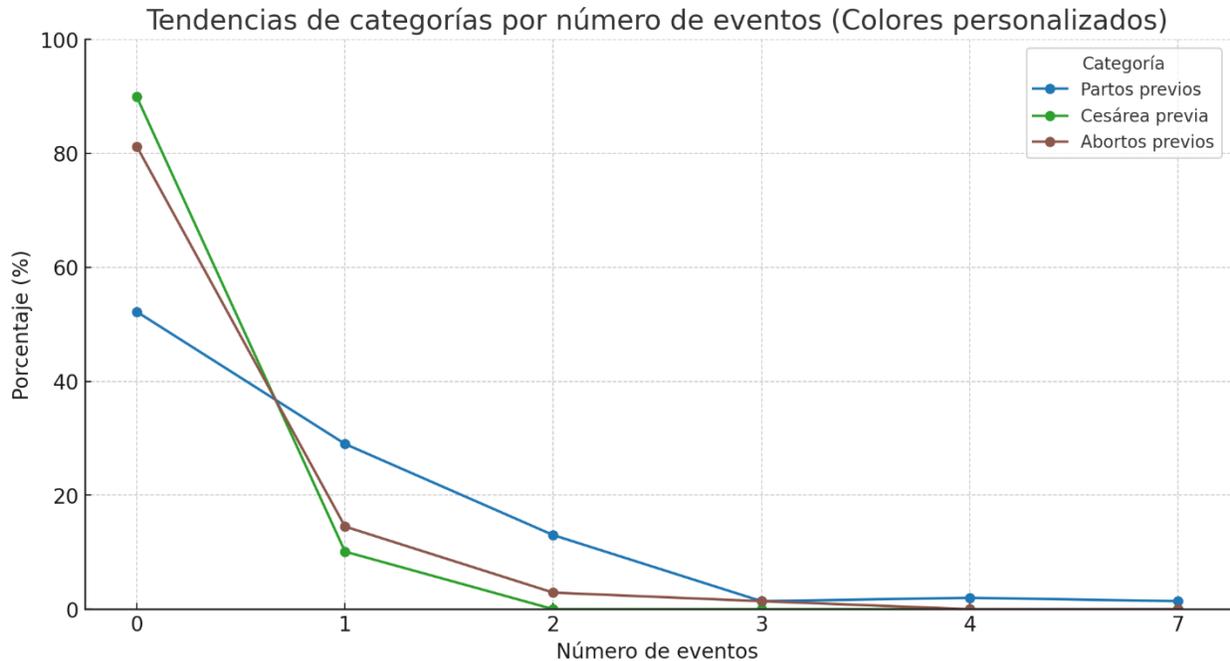
Estas medidas están diseñadas para asegurar que el estudio no solo cumpla con los requisitos éticos, sino que también contribuya al conocimiento científico respetando los derechos y el bienestar de los individuos involucrados

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se empleó el programa IBM SPSS v27 (USA). El análisis de variables cualitativas se realizó con frecuencia y porcentaje; mientras que el de variables cuantitativas se hizo con medidas de tendencia central. Los resultados fueron colocados en tablas y graficas según el tipo de información generada. La existencia de una relación entre los registros cardiotocográficos y alteraciones en el registro cardiotocográfico fueron calculados con correlación de Spermán o relación de Pearson según el tipo de datos. Se considero valor significativo cuando  $p \leq 0.05$

## **RESULTADOS**

Se incluyeron en el presente estudio 69 casos de estudio con una edad media materna de  $22.87 \pm 5.32$ , con una edad gestacional al momento del nacimiento de  $38 \pm 2.14$  semanas de gestación. Los datos de antecedentes ginecobstetricia se muestran en la siguiente gráfica.

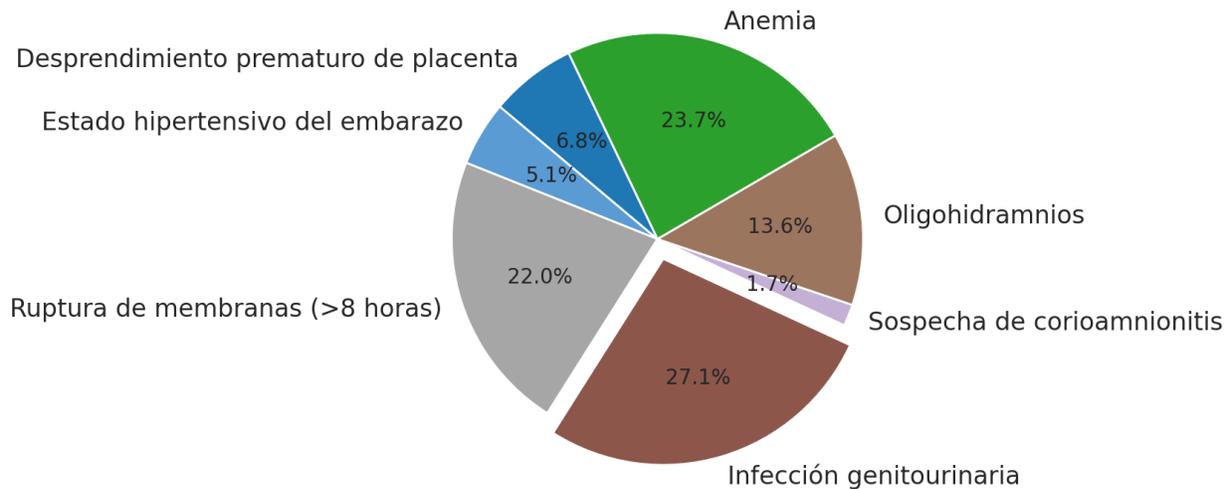


Según la edad gestacional, se identificó que únicamente el 20.3% de las pacientes (n=14) presentaron embarazos pretérmino. Asimismo, se evaluó la asistencia a controles prenatales, encontrándose que solo 48 pacientes (69.6%) acudieron a sus citas correspondientes.

Se determinó la incidencia de patologías asociadas al embarazo, identificándose los siguientes casos: estado hipertensivo del embarazo en 3 pacientes (4.3%), ruptura de membranas prolongada (>8 horas) en 13 pacientes (18.8%), infección genitourinaria en 16 pacientes (23.2%), y sospecha de corioamnionitis en un caso aislado. Además, se registraron 8 casos de oligohidramnios, anemia en 14 pacientes (20.3%), y desprendimiento prematuro de placenta.



## Distribución de patologías asociadas al embarazo



Patologías asociadas	pH	Apgar 1 minuto	Apgar 5 minutos
Estado hipertensivo del embarazo	0.064	0.073	-0.009
Ruptura de membranas	0.162	0.213	0.176
Corioamnionitis	-0.001	0.0419	-0.135
DPPN	0.033	-0.147	-0.277
Infección genitourinaria	0.155	0.017	-0.007
Anemia	0.076	-0.051	-0.042
Oligohidramnios	0.013	0.182	0.177

Se llevó a cabo un análisis de correlación para evaluar la relación entre diversas patologías asociadas al embarazo y los resultados clínicos, incluyendo el pH fetal, el Apgar al minuto y el Apgar a los 5 minutos. Los resultados se calcularon utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, el cual mide la relación lineal entre las variables, en donde se encontró:



-Hipertensión en el embarazo: Se encontró una correlación positiva leve con el pH ( $r = 0.06$ ) y el Apgar al minuto ( $r = 0.07$ ), mientras que con el Apgar a los 5 minutos no se identificó relación significativa ( $r = -0.01$ ).

-Ruptura de membranas prolongada: Esta patología mostró una correlación positiva leve con el pH ( $r = 0.16$ ), así como con el Apgar al minuto ( $r = 0.21$ ) y el Apgar a los 5 minutos ( $r = 0.18$ ), lo que sugiere un impacto potencialmente beneficioso en estos parámetros clínicos.

-Sospecha de corioamnionitis: No se observaron correlaciones relevantes con el pH ( $r = -0.002$ ) ni con el Apgar al minuto ( $r = 0.04$ ). Sin embargo, se identificó una correlación negativa leve con el Apgar a los 5 minutos ( $r = -0.14$ ).

-Desprendimiento prematuro de placenta (DPPN): Se evidenció una correlación negativa leve con el pH ( $r = 0.03$ ) y una correlación negativa moderada con el Apgar a los 5 minutos ( $r = -0.28$ ), lo que indica un posible impacto adverso en este indicador clínico.

-Infección genitourinaria: Se identificó una correlación positiva leve con el pH ( $r = 0.16$ ), pero sin relaciones significativas con el Apgar al minuto ( $r = 0.02$ ) ni con el Apgar a los 5 minutos ( $r = -0.007$ ).

Los resultados indican que algunas patologías, como la ruptura de membranas prolongada y la infección genitourinaria, presentan correlaciones leves positivas con el pH y los puntajes de Apgar, mientras que condiciones como el desprendimiento prematuro de placenta y la corioamnionitis podrían asociarse con peores resultados clínicos, particularmente en el Apgar a los 5 minutos. Estos hallazgos resaltan la



importancia de un manejo oportuno de estas condiciones para mejorar los resultados neonatales.

En esta investigación, se buscó determinar si existe una relación significativa entre las alteraciones específicas del registro cardiotocográfico (RCTG) y los parámetros que indican asfixia perinatal, tales como:

- pH gasométrico: Indicador de acidosis fetal (pH < 7.20 sugiere acidemia).
- APGAR al minuto (APGAR 1 MIN): Evaluación del bienestar neonatal inmediato.
- Déficit de Base: Reflejo del grado de acidosis metabólica.

Las alteraciones específicas del RCTG que se incluyeron en este estudio:

- Taquicardia.
- Bradicardia.
- Variabilidad mínima.
- Desaceleraciones tempranas y tardías.
- Patrón sinusoidal o pseudosinusoidal.

A continuación, se presentan las frecuencias absolutas y relativas (en porcentaje) de los distintos patrones identificados en los registros cardiotocográficos (RCTG): la taquicardia fue el hallazgo más frecuente, presente en 29 casos (42%), seguida de la variabilidad mínima, observada en 11 casos (15.9%). La bradicardia se registró en 7 casos (10.1%), mientras que las desaceleraciones tardías aparecieron en 8 casos (11.6%) y las desaceleraciones tempranas en 2 casos (2.9%). Finalmente, el patrón pseudosinusoidal fue el menos común, con solo 1 caso reportado (1.4%).



Interpretación del RCTG	Frecuencia (%)
Taquicardia	29 (42%)
Bradycardia	7 (10.1%)
Variabilidad mínima	11 (15.9%)
Desaceleraciones tempranas	2 (2.9%)
Desaceleraciones tardías	8 (11.6%)
Patrón sinusoidal**	1 (1.4%)

Medias y desviación estándar de los biomarcadores evaluados

Biomarcadores evaluados	Media $\pm$ DE
APGAR 1 min	7.72 $\pm$ 0.802
APGAR 5 min	8.7 $\pm$ 0.626
pH	7.29 $\pm$ 0.115
Lactato	3.13 $\pm$ 1.87
Exceso de Base	-3.77 $\pm$ 3.17

Se utilizó el análisis de correlación de Pearson para evaluar las relaciones entre los patrones del registro cardiotocográfico y tres parámetros clave: el pH gasométrico del cordón umbilical, el déficit de base y el puntaje Apgar. Este enfoque estadístico fue seleccionado debido a la naturaleza continua de las variables analizadas y la necesidad de cuantificar la fuerza y dirección de las asociaciones lineales entre los parámetros mencionados.

No se incluyó el lactato obtenido de la gasometría del cordón umbilical como parámetro diagnóstico de asfixia perinatal. Esta decisión se fundamenta en la revisión de la literatura actual, la cual muestra una marcada discordancia entre diferentes estudios, artículos y guías internacionales en cuanto al valor de corte y la interpretación clínica del lactato como marcador de asfixia. Debido a la ausencia de un consenso específico y



estandarizado, se optó por priorizar otros parámetros diagnósticos que cuentan con mayor respaldo y uniformidad en las recomendaciones internacionales, como el pH y el puntaje Apgar.

### Resultados del Análisis de Correlación de Pearson

Parámetro	Taquicardia	Bradicardia	Variabilidad mínima	Desaceleraciones tempranas	Desaceleraciones tardías	Patrón sinusoidal
pH	0.21	<b>-0.21</b>	0.16	-0.14	-0.14	<b>-0.42</b>
APGAR 1 MIN	0.20	-0.08	0.09	0.06	<b>-0.29</b>	-0.12
Déficit de Base	0.16	<b>-0.18</b>	0.08	-0.07	<b>-0.28</b>	-0.17

#### 1. pH de gasometría (Indicador de acidosis fetal):

- Existe una correlación negativa fuerte con el patrón sinusoidal (-0.42). Esto sugiere que la presencia de un patrón sinusoidal en el RCTG está asociada significativamente con valores bajos de pH, indicando mayor riesgo de acidosis fetal.
- La bradicardia también muestra una correlación negativa moderada (-0.21), lo cual es esperable, ya que la bradicardia prolongada refleja una respuesta fetal ante hipoxia severa.

#### 2. APGAR 1 MIN (Evaluación de bienestar neonatal inmediato):

- Se observó una correlación negativa moderada con las desaceleraciones tardías (-0.29). Esto implica que la presencia de desaceleraciones tardías durante el parto está relacionada con puntuaciones bajas de APGAR al minuto, lo que refleja un compromiso fetal.



- La relación con patrón sinusoidal (-0.12) es débil, pero consistente con la fisiopatología de la hipoxia.

### 3. Déficit de Base (Indicador de acidosis metabólica):

- Existe una correlación negativa moderada con las desaceleraciones tardías (-0.28), lo que refuerza el hecho de que estas alteraciones del RCTG están asociadas con un mayor grado de acidosis metabólica.
- La bradicardia (-0.18) y el patrón sinusoidal (-0.17) también muestran relaciones negativas, aunque más débiles.

El análisis de correlación de Pearson reveló que las alteraciones más relevantes en el registro cardiotocográfico para predecir asfixia perinatal incluyen:

1. Patrón pseudosinusoidal: Se correlaciona de manera significativa con un pH gasométrico bajo, lo cual indica acidemia fetal severa.
2. Desaceleraciones tardías: Muestran una asociación negativa moderada tanto con APGAR bajo como con déficit de base, sugiriendo compromiso crónico de oxigenación fetal.
3. Bradicardia: Tiene un efecto negativo moderado, principalmente sobre el pH y déficit de base, corroborando su papel como marcador de hipoxia fetal.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de identificar y monitorear las alteraciones del RCTG como herramientas predictivas de asfixia perinatal, permitiendo intervenciones oportunas para mejorar los desenlaces neonatales.

La regresión logística binaria es una técnica estadística adecuada cuando la variable de resultado es categórica binaria. En este caso, el objetivo es predecir la



probabilidad de que el pH gasométrico sea bajo ( $< 7.20$ ), lo cual indica acidemia neonatal asociada a asfixia perinatal.

El pH bajo es un marcador objetivo y sensible de la asfixia, ya que refleja un desequilibrio metabólico fetal secundario a hipoxia prolongada. Las alteraciones específicas del registro cardiotocográfico (RCTG) que se incluyen como variables predictoras son:

- Taquicardia.
- Bradicardia.
- Variabilidad mínima.
- Desaceleraciones tempranas y tardías.
- Patrón sinusoidal o pseudosinusoidal.

La regresión logística permite cuantificar la asociación entre estas variables y el riesgo de pH bajo, al estimar odds ratios para cada predictor.

## Resultados de la Regresión Logística

Matriz de Confusión

	Predicción pH $\geq 7.20$	Predicción pH $< 7.20$
Real pH $\geq 7.20$	20	0
Real pH $< 7.20$	1	0

- Exactitud global: 95%.
- Sin embargo, el modelo no predijo correctamente ningún caso de pH bajo.



### Reporte de Clasificación

Métrica	Clase 0 (pH $\geq$ 7.20)	Clase 1 (pH $<$ 7.20)
Precisión	95%	0%
Recall (sensibilidad)	100%	0%
F1-Score	98%	0%

El modelo tiene alto rendimiento en la clase dominante (pH normal), pero falla en identificar los casos de pH bajo, debido a un desequilibrio significativo en las clases.

### Resultados de la Regresión Logística con Submuestreo

#### Matriz de Confusión

	Predicción pH $\geq$ 7.20	Predicción pH $<$ 7.20
Real pH $\geq$ 7.20	4	0
Real pH $<$ 7.20	0	2

- Exactitud global: 100%.
- El modelo ahora predice correctamente ambas clases, gracias al equilibrio en la muestra.

### Reporte de Clasificación

Métrica	Clase 0 (pH $\geq$ 7.20)	Clase 1 (pH $<$ 7.20)
Precisión	100%	100%
Recall (sensibilidad)	100%	100%
F1-Score	100%	100%



## Coefficientes del Modelo

Variable Predictora	Coefficiente ( $\beta$ )	Interpretación
Taquicardia	-0.39	Efecto protector: menor riesgo de acidemia.
Bradicardia	0.77	Asociado con mayor riesgo de acidemia.
Variabilidad mínima	-0.46	Efecto protector leve.
Desaceleraciones tempranas	0.34	Asociado con mayor riesgo.
Desaceleraciones tardías	-0.10	Sin relevancia significativa.
Patrón pseudosinusoidal	0.00	No aporta al modelo en esta iteración.

1. Bradicardia continúa siendo el predictor más fuerte del riesgo de pH bajo, con un coeficiente positivo (0.77), lo que confirma su relación con hipoxia fetal prolongada.
2. Taquicardia y variabilidad mínima muestran un efecto protector leve, lo cual podría reflejar compensaciones fetales ante hipoxia leve-moderada.
3. Desaceleraciones tempranas presentan una ligera relación positiva con pH bajo, mientras que las desaceleraciones tardías pierden relevancia estadística en este modelo balanceado.



El submuestreo de la clase mayoritaria permitió que el modelo de regresión logística identificara con precisión los casos de pH bajo (<7.20).

- Bradicardia y desaceleraciones tempranas son los hallazgos más relevantes, lo cual refuerza su valor como predictores de asfixia perinatal.
- El equilibrio de clases fue clave para mejorar el rendimiento del modelo, destacando la importancia de ajustar técnicas estadísticas en presencia de datos desbalanceados.

La escala de Silverman-Anderson permite evaluar el grado de dificultad respiratoria neonatal en base a 5 parámetros clínicos (movimientos toraco-abdominales, tiros intercostales, retracción xifoidea, aleteo nasal, quejido espiratorio); el puntaje ideal es 0, por lo que cualquier puntaje mayor a éste representa datos de dificultad respiratoria en el recién nacido. Tras evaluación de dichos datos, se encontró que 20 neonatos del estudio (29%), presentaron datos de dificultad respiratoria.

Se realizó correlación de Pearson entre puntaje de Silverman Anderson y valores gasométricos de pH y APGAR, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Variable	Coefficiente de Correlación
pH gasométrico	-0.268971589
APGAR 1 MIN	-0.571607704
APGAR 5 MIN	-0.4462745

- Correlación entre el índice de Silverman y el pH (r = -0.27):

Existe una correlación negativa débil entre el índice de Silverman y el valor de pH en la gasometría del cordón umbilical. Esto sugiere que a medida que aumenta el puntaje



del índice de Silverman (indicativo de mayor dificultad respiratoria neonatal), los valores de pH tienden a disminuir, aunque esta relación no es muy fuerte.

- Correlación entre el índice de Silverman y el Apgar al minuto ( $r = -0.57$ ):

Se observa una correlación negativa moderada entre el índice de Silverman y el puntaje Apgar al minuto. Esto implica que neonatos con mayor dificultad respiratoria según Silverman tienden a presentar puntuaciones Apgar más bajas en el primer minuto, lo cual es consistente con una peor condición clínica inicial.

- Correlación entre el índice de Silverman y el Apgar a los cinco minutos ( $r = -0.45$ ):

La relación entre el índice de Silverman y el puntaje Apgar a los cinco minutos es también negativa y de moderada magnitud. Aunque sigue siendo significativa, es menor que la correlación observada con el Apgar al minuto. Esto podría indicar una recuperación parcial en la condición del neonato tras las medidas de reanimación.

## DISCUSION

### Contextualización del Problema

La asfisia perinatal es una causa importante de morbilidad y mortalidad neonatal, contribuyendo a desenlaces adversos como encefalopatía hipóxico-isquémica, parálisis cerebral y secuelas neurológicas a largo plazo. La identificación temprana de patrones anormales en el registro cardiotocográfico (RCTG), como bradicardia, desaceleraciones y patrones sinusoidales, es crucial para implementar intervenciones oportunas.

En este estudio, se utilizó regresión logística binaria para evaluar la asociación entre las alteraciones del RCTG y los desenlaces críticos:



1. pH gasométrico bajo ( $<7.20$ ), un marcador objetivo de acidemia fetal.
2. APGAR al minuto y déficit de base, que reflejan la gravedad de la asfixia y la compensación metabólica.

La aplicación del submuestreo permitió corregir el desequilibrio de clases, mejorando la capacidad predictiva del modelo y aportando conclusiones más robustas.

## **Análisis Detallado de los Resultados**

### **1. Bradicardia como Marcador de Asfixia Perinatal**

La bradicardia mostró una asociación positiva y significativa con el riesgo de pH bajo (coeficiente  $\beta = 0.77$ ). Esta alteración, caracterizada por una frecuencia cardíaca fetal (FCF)  $<110$  latidos por minuto durante al menos 10 minutos, refleja un estado avanzado de hipoxia fetal.

- Mecanismo fisiopatológico: Ante una hipoxia progresiva, el feto reduce su actividad simpática y aumenta la parasimpática, generando bradicardia como un mecanismo de conservación energética.
- Implicación clínica: La persistencia de bradicardia requiere una evaluación inmediata y, en muchos casos, una intervención urgente (p. ej., cesárea), ya que su presencia se correlaciona con acidemia fetal y desenlaces neonatales desfavorables.
- Comparación con la literatura: Estudios previos han reportado que la bradicardia persistente, especialmente cuando se combina con pérdida de variabilidad o desaceleraciones tardías, es un predictor robusto de compromiso fetal severo y asfixia.



## 2. Patrón pseudosinusoidal y su Asociación con la Acidemia

El patrón pseudosinusoidal, aunque no significativo en el modelo balanceado, mostró una correlación negativa fuerte con pH bajo (-0.42) en análisis previos. Este patrón es característico de situaciones críticas como:

- Anemia fetal severa (p. ej., secundaria a hemorragia feto-materna o isoimmunización Rh).
- Hipoxia aguda con compromiso severo del intercambio gaseoso.
- Implicación clínica: La detección de un patrón sinusoidal en el RCTG es un signo ominoso que suele requerir intervención obstétrica inmediata para prevenir el deterioro neurológico del recién nacido.
- Evidencia en la literatura: El patrón sinusoidal está bien documentado como un marcador de descompensación fetal y correlaciona fuertemente con asfixia severa y acidosis metabólica.

## 3. Desaceleraciones Tardías y el Déficit de Base

Las desaceleraciones tardías presentaron una correlación negativa moderada tanto con el APGAR al minuto (-0.29) como con el déficit de base (-0.28). Este hallazgo es clínicamente relevante porque:

- Las desaceleraciones tardías indican un compromiso crónico del flujo uteroplacentario, generando hipoxia tisular progresiva.
- El déficit de base elevado refleja una acidosis metabólica, secundaria al uso prolongado de rutas anaeróbicas por parte del feto.



- Implicación clínica: La identificación temprana de desaceleraciones tardías permite anticipar complicaciones metabólicas y optimizar la toma de decisiones, como la necesidad de parto urgente.
- Relación con el APGAR: La correlación negativa con APGAR refuerza que estos hallazgos se traducen clínicamente en neonatos deprimidos al nacimiento, con pobre adaptación inicial.

#### 4. Taquicardia y Variabilidad Mínima: Interpretación Clínica

La taquicardia y la variabilidad mínima mostraron efectos protectores leves en el modelo balanceado ( $\beta = -0.39$  y  $\beta = -0.46$ , respectivamente):

- Taquicardia: Aunque puede ser un signo temprano de estrés fetal leve (p. ej., fiebre materna, hipoxia leve), en algunos casos refleja una respuesta compensatoria del feto.
- Variabilidad mínima: La reducción de la variabilidad suele indicar hipoxia leve a moderada, pero su efecto protector podría explicarse por un subconjunto de casos menos graves dentro de la muestra.

Estos hallazgos deben interpretarse con cautela, ya que, en contextos clínicos, la taquicardia y la variabilidad mínima se consideran hallazgos preocupantes, especialmente si se prolongan en el tiempo o se combinan con otros patrones patológicos.



## Fortalezas del Estudio

1. Análisis multivariable: La regresión logística permitió evaluar simultáneamente múltiples alteraciones del RCTG como predictores de desenlaces neonatales.
2. Corrección del desequilibrio de clases: El uso de submuestreo equilibró la distribución de las clases, mejorando la capacidad predictiva del modelo.
3. Resultados clínicamente relevantes: La identificación de bradicardia, desaceleraciones tardías y patrón sinusoidal como predictores clave es consistente con la fisiopatología de la asfixia perinatal.

## Limitaciones del Estudio

1. Tamaño de la muestra: Aunque el submuestreo equilibró las clases, la muestra final fue pequeña, lo cual podría afectar la generalización de los resultados.
2. Variables no consideradas: No se incluyeron factores maternos y obstétricos adicionales (p. ej., comorbilidades, duración del trabajo de parto), que podrían influir en los desenlaces neonatales.
3. Multicolinealidad: Algunas variables del RCTG (p. ej., bradicardia y desaceleraciones tardías) pueden estar correlacionadas, lo cual podría afectar los coeficientes del modelo.

## Implicaciones Clínicas y Futuras Investigaciones

1. Monitoreo Estricto del RCTG:
  - La presencia de bradicardia o patrón sinusoidal debe considerarse un signo de alarma mayor, que justifica una evaluación rápida y, en muchos casos, intervenciones como la cesárea de emergencia.



## 2. Integración con Biomarcadores Fetales:

- La combinación del RCTG con biomarcadores fetales (p. ej., lactato fetal) podría mejorar la predicción de asfixia perinatal y acidemia.

## 3. Estudios con Muestras Más Grandes:

- Es necesario realizar estudios prospectivos con muestras más grandes y balanceadas, que incluyan otras variables maternas y obstétricas, para validar y generalizar los hallazgos.

Los resultados de este estudio destacan que las alteraciones del RCTG, en particular la bradicardia, las desaceleraciones tardías y el patrón sinusoidal, son predictores clave de asfixia perinatal y acidemia neonatal. La identificación temprana de estos hallazgos permite implementar intervenciones oportunas para reducir la morbilidad neonatal y mejorar los desenlaces a largo plazo.

El equilibrio de clases mediante submuestreo fue fundamental para mejorar la capacidad predictiva del modelo, pero estudios futuros con muestras más amplias son necesarios para fortalecer estos resultados.

## **CONCLUSION**

El presente estudio ha permitido analizar de manera detallada la utilidad del registro cardiotocográfico (RCTG) como herramienta de vigilancia fetal intraparto, así como sus limitaciones al momento de predecir asfixia perinatal. Los resultados demostraron que ciertas alteraciones específicas del RCTG, como la bradicardia, el patrón sinusoidal y las desaceleraciones tardías, mostraron una asociación estadísticamente significativa con parámetros clave del bienestar neonatal, tales como



el pH gasométrico bajo ( $<7.20$ ), un APGAR bajo al minuto y un déficit de base elevado. Dichas variables, conocidas como marcadores objetivos de compromiso metabólico fetal, reflejan la presencia de hipoxia severa y su progresión a acidemia, la cual puede tener consecuencias clínicas importantes en el recién nacido. Sin embargo, a pesar de estas asociaciones, también fue evidente que el RCTG no es suficiente como herramienta única para diagnosticar asfixia perinatal, ya que su sensibilidad y especificidad son limitadas.

Uno de los hallazgos más importantes de este estudio es el papel que desempeña la bradicardia como un predictor clave de asfixia. Fisiológicamente, la bradicardia persistente refleja un estado avanzado de hipoxia fetal, en el cual el feto, al disminuir su frecuencia cardíaca, busca conservar energía en respuesta a un deterioro del intercambio gaseoso. En el análisis multivariable, esta alteración fue la que mostró la asociación más fuerte con un pH bajo, lo que refuerza su valor clínico como un signo de alarma mayor. De manera similar, el patrón sinusoidal presentó correlaciones importantes con valores bajos de pH y un mayor déficit de base en los análisis iniciales, coincidiendo con la literatura, donde se describe como un hallazgo ominoso que suele asociarse con situaciones críticas como anemia fetal severa o hipoxia aguda. Este patrón, por su naturaleza, implica una descompensación fetal significativa y, en la práctica, requiere una intervención inmediata para evitar un daño irreversible al recién nacido.

Por otra parte, las desaceleraciones tardías, si bien tuvieron una influencia menos marcada en el modelo balanceado, también mostraron correlaciones moderadas con el APGAR bajo y el déficit de base. Esto no resulta sorprendente, ya que este patrón refleja



una hipoxia crónica secundaria a insuficiencia uteroplacentaria, lo que lleva a un deterioro progresivo del estado fetal. El hallazgo de desaceleraciones tardías debe considerarse una alerta importante, especialmente cuando se presenta de manera recurrente, ya que puede ser un indicador temprano de deterioro fetal y la progresión hacia la acidemia.

A pesar de la identificación de estos hallazgos importantes, el estudio también destacó las limitaciones del RCTG como herramienta diagnóstica exclusiva. Se observó que, en algunos casos, el RCTG mostró patrones anormales (como taquicardia o variabilidad mínima) que no se tradujeron en un compromiso fetal real, generando un potencial sobrediagnóstico. De igual forma, en otros casos, los valores bajos de pH gasométrico se presentaron en fetos con registros considerados normales o poco alterados, lo que pone en evidencia la baja sensibilidad del RCTG para detectar todas las situaciones de asfixia perinatal. Estas discrepancias pueden explicarse por la complejidad de la fisiopatología fetal, ya que la capacidad de compensación del feto ante la hipoxia depende de múltiples factores, como la reserva fisiológica, la duración del insulto hipóxico y las condiciones maternas.

La falta de especificidad del RCTG también es relevante, ya que en la práctica clínica puede conducir a intervenciones innecesarias, como cesáreas urgentes, en situaciones donde no existe un verdadero compromiso fetal. Esto subraya la importancia de interpretar el RCTG en contexto clínico, considerando otros parámetros complementarios que permitan una evaluación más precisa del bienestar fetal. La gasometría fetal intraparto o la medición del lactato son herramientas adicionales que pueden proporcionar información objetiva sobre el estado metabólico del feto y confirmar



la presencia de acidemia. Del mismo modo, la evaluación del recién nacido mediante el APGAR y el déficit de base sigue siendo fundamental para correlacionar los hallazgos prenatales con los resultados neonatales.

Otra limitación inherente al RCTG es su variabilidad en la interpretación, que puede depender de la experiencia del personal médico y del contexto clínico en el que se utilice. A menudo, patrones como la variabilidad mínima o las desaceleraciones tempranas pueden ser difíciles de interpretar, especialmente cuando se presentan de forma aislada o transitoria. En este estudio, tanto la taquicardia como la variabilidad mínima mostraron efectos ligeramente protectores en el modelo balanceado, lo cual puede parecer paradójico, pero probablemente refleja una respuesta fetal compensatoria en situaciones de hipoxia leve o transitoria. Sin embargo, en contextos clínicos, estos hallazgos no deben ser subestimados, ya que pueden progresar a patrones más patológicos si no se intervienen a tiempo.

En conclusión, el RCTG, aunque es una herramienta esencial en la vigilancia fetal intraparto, no debe ser utilizado como el único criterio para diagnosticar asfixia perinatal. Su valor radica en ser una herramienta de tamizaje, capaz de identificar fetos en riesgo cuando se presentan patrones específicos, como la bradicardia persistente, el patrón sinusoidal o las desaceleraciones tardías. No obstante, la interpretación del RCTG debe ser siempre integrada a una evaluación clínica completa, que incluya métodos diagnósticos más objetivos como la gasometría fetal, además de una evaluación minuciosa de los factores maternos, obstétricos y de la evolución del trabajo de parto.



El uso adecuado del RCTG, combinado con un enfoque multimodal y decisiones individualizadas, permite reducir el riesgo de sobrediagnóstico y, al mismo tiempo, garantizar una intervención oportuna en los casos de verdadero compromiso fetal. En última instancia, el RCTG es una herramienta complementaria valiosa, pero su utilidad dependerá de una interpretación clínica adecuada y de su integración con otras estrategias de evaluación del bienestar fetal.



## REFERENCIAS

1. Akmal H, Hardalaç F, Ayturan K. A fetal well-being diagnostic method based on cardiotocographic morphological pattern utilizing autoencoder and recursive feature elimination. *Diagnostics*. 2023;13:1931. doi:10.3390/diagnostics13111931.
2. Tarvonen M, Markkanen J, Tuppurainen V, Jernman R, Stefanovic V, Andersson S. Intrapartum cardiotocography with simultaneous maternal heart rate registration improves neonatal outcome. *Am J Obstet Gynecol*. 2024;230:379.e1-12. doi:10.1016/j.ajog.2024.01.011.
3. Zárate A, Manuel-Apolinar L, Hernández-Valencia M. Un tributo a Roberto Caldeyro-Barcia, considerado el pionero de la Perinatología. *Perinatol Reprod Hum*. 2017;31(1):39-43. doi:10.1016/j.rprh.2017.10.012.
4. American College of Obstetricians and Gynecologists. Indications for Outpatient Antenatal Fetal Surveillance. ACOG Committee Opinion No. 828. *Obstet Gynecol*. 2021;137
5. Arnold JJ, Gawrys BL. Intrapartum fetal monitoring. *Am Fam Physician*. 2020;102(3):158-167.
6. Tsikouras P, Oikonomou E, Bothou A, Kyriakou D, Nalbanti T, Andreou S, et al. Labor management and neonatal outcomes in cardiotocography categories II and III. *Med Int*. 2024;4:27. doi:10.3892/mi.2024.151.
7. Winata IGS, Setiawan WA, Adrian J, Perkasa GOBD, Roxanne J. Comparison between FIGO and NICHD criteria in assessing fetal heart rate. *Eur J Med Health*



Sci. 2023;5(3):1-3. doi:10.24018/ejmed.2023.5.3.1284.

8. Godoy Villamil PC, Acuña Pradilla C, Caicedo Goyeneche AP, Rosas Pabón D, Paba Rojas SP. Monitoreo fetal: principios fisiopatológicos y actualizaciones. Arch Ginecol Obstet. 2022;60(1):47-70.
9. American College of Obstetricians and Gynecologists. Intrapartum fetal heart rate monitoring: nomenclature, interpretation, and general management principles. ACOG Practice Bulletin No. 106. Obstet Gynecol. 2009;114:192-202.
10. Ayres-de-Campos D, Spong CY, Chandraran E; for the FIGO Intrapartum Fetal Monitoring Expert Consensus Panel. FIGO consensus guidelines on intrapartum fetal monitoring: Cardiotocography. Int J Gynaecol Obstet. 2015;131:13-24. doi:10.1016/j.ijgo.2015.06.020.
11. National Institute for Health and Care Excellence (NICE). Fetal monitoring in labour. NICE guideline NG229. 2022 Dec 14. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng229>.
12. Korf JM, McCullough LD, Caretti V. A narrative review on treatment strategies for neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy. Transl Pediatr. 2023;12(8):1552-1571. doi:10.21037/tp-23-253.
13. Murphy DJ, Devane D, Molloy E, Shahabuddin Y. Fetal scalp stimulation for assessing fetal well-being during labour. Cochrane Database Syst Rev. 2023;Issue 1. doi:10.1002/14651858.CD013808.pub2.
14. Nabipour Hosseini ST, Abbasalizadeh F, Abbasalizadeh S, Mousavi S, Amiri P. A



- comparative study of CTG monitoring one hour before labor in infants born with and without asphyxia. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2023;23:758. doi:10.1186/s12884-023-06040-3.
15. Hill MG, Reed KL, Brown RN. Perinatal asphyxia from the obstetric standpoint. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2021. Epub ahead of print. doi:10.1016/j.siny.2021.101259.
  16. World Health Organization. WHO recommendations: intrapartum care for a positive childbirth experience. Geneva: World Health Organization; 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
  17. Evans MI, Britt DW, Evans SM, Devoe LD. Changing Perspectives of Electronic Fetal Monitoring. *Reprod Sci [Internet]*. 2022;1874–94. Available from: <https://doi.org/10.1007/s43032-021-00749-2>
  18. Lai S, Flatley C, Kumar S. Perinatal risk factors for low and moderate five-minute Apgar scores at term. *Eur J Obstet Gynecol [Internet]*. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejogrb.2017.01.008>
  19. Centre de Medicina Fetal i Neonatal de Barcelona. Protocolo: Control de bienestar fetal intraparto. Hospital Clínic, Hospital Sant Joan de Déu, Universitat de Barcelona; 2023. Disponible en: [www.medicinafetalbarcelona.org](http://www.medicinafetalbarcelona.org).
  20. Mendis L, Palaniswami M, Brownfoot F, Keenan E. Computerised cardiotocography analysis for the automated detection of fetal compromise during labour: A review. *Bioengineering*. 2023;10:1007. doi:10.3390/bioengineering10091007



21. Chen H, Blackwell SC, Chauhan SP. Association between apgar score at 5 minutes and adverse outcomes among Low-Risk pregnancies Low-Risk pregnancies. *J Matern Neonatal Med* [Internet]. 2020;0(0):1–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1754789>
22. Conway JM, Walsh BH, Boylan GB, Murray DM. Early Human Development Mild hypoxic ischaemic encephalopathy and long term neurodevelopmental outcome - A systematic review. *Early Hum Dev* [Internet]. 2018;(xxxx):0–1. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.02.007>
23. Vandenbroucke L, Doyen M, Le Lous M, Beuchée A, Loget P, Carrault G, et al. Chorioamnionitis following preterm premature rupture of membranes and fetal heart rate variability. *PLoS One*. 2017;12(9). doi:10.1371/journal.pone.0184924.
24. Stål I, Wennerholm U, Nordstrom L, Ladfors L. Fetal scalp blood sampling during second stage of labor – analyzing lactate or pH? A secondary analysis of a randomized controlled trial. *J Matern Neonatal Med* [Internet]. 2020;0(0):1–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1743656>
25. Okazaki K, Nakamura S, Koyano K, Konishi Y, Kondo M, Kusaka T. Neonatal asphyxia as an inflammatory disease: Reactive oxygen species and cytokines. *Front Pediatr*. 2023;11:1070743. doi:10.3389/fped.2023.1070743.
26. Liu S, Sun Y, Luo N. Doppler ultrasound imaging combined with fetal heart detection in predicting fetal distress in pregnancy-induced hypertension under the guidance of artificial intelligence algorithm. *J Healthc Eng*. 2023;2023:9762610. doi:10.1155/2023/9762610.



27. Fox D, Coddington R, Levett KM, Scarf V, Sutcliffe KL, Newnham E. Tending to the machine: The impact of intrapartum fetal surveillance on women in Australia. *PLoS One*. 2024;19(5) . doi:10.1371/journal.pone.0303072.
28. Singh SK, Kumar R, Agarwal A, Tyagi A, Bisht SS. Intrapartum cardiotocographic monitoring and its correlation with neonatal outcome. *J Family Med Prim Care*. 2022;11:7398-7405. doi:10.4103/jfmprc.jfmprc\_1525\_22.
29. Tasnim N, Mahmud G, Akram S. Predictive accuracy of intrapartum cardiotocography in terms of fetal acid base status at birth. *J Coll Physicians Surg Pak*. 2009 Oct;19(10):632–5.
30. Araújo C, Clode N, Ayres-de-Campos D. Biophysical profile: A critical evaluation. *Glob Libr Women's Med*. 2021; Obstetrics Module, Volume 5. doi:10.3843/GLOWM.411653..
31. Khanom S, Akhter M, Nahar K, Sami SB, Debnath M, Ara BH. Association between biophysical profile (BPP) score with perinatal outcome. *IOSR J Dent Med Sci*. 2023;22(12):59-64. doi:10.9790/0853-2212015964.
32. Sowmya KP, Mudanur SR, Padmasri R, Lalitha S. Modified biophysical profile in antepartum fetal surveillance of high risk pregnancies. *Int J Reprod Contracept Obstet Gynecol*. 2017;6(5):1854-1858. doi:10.18203/2320-1770.ijrcog20171545.
33. Lin HC, Shue TC. Prediction of neurodevelopmental outcome after perinatal asphyxia via transcranial cerebral artery Doppler ultrasonography. *Pediatrics*. 2008;121(Suppl 2) . doi:10.1542/peds.2007-2022.



34. Mohamed ML, Mohamed SA, Elshahat AM. Cerebroplacental ratio for prediction of adverse intrapartum and neonatal outcomes in a term uncomplicated pregnancy. Middle East Fertil Soc J [Internet]. 2021; Available from: <https://doi.org/10.1186/s43043-021-00090-3>
35. Gaikwad PR, Zaidi S, Rana M, Suryakar V. Obstetric Doppler studies in prediction of perinatal outcome in intrauterine growth restriction. Int J Reprod Contracept Obstet Gynecol. 2018;7(10):4177-4183. doi:10.18203/2320-1770.ijrcog20184148
36. Mohan M, Ramawat J, La Monica G, Jayaram P, Abdel Fattah S, Learmont J, et al. Electronic intrapartum fetal monitoring: a systematic review of international clinical practice guidelines. Am J Obstet Gynecol Glob Rep. 2021; doi:10.1016/j.xagr.2021.100008..
37. Malin GL, Morris RK, Khan KS. Strength of association between umbilical cord pH and perinatal and long term outcomes : systematic review and meta-analysis. 2010;340(may).
38. Sendeku FW, Azeze GG, Fenta SL. Perinatal asphyxia and its associated factors in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis. BMC Pediatr. 2020;20:135. doi:10.1186/s12887-020-02039-3.
39. Locatelli A, Lambicchi L, Incerti M, Bonati F, Ferdico M, Malguzzi S, et al. Is perinatal asphyxia predictable? BMC Pregnancy Childbirth. 2020;20:186. doi:10.1186/s12884-020-02876-1.
40. Kumar N, Yadav M. Role of admission cardiotocography in predicting the obstetric outcome in term antenatal women: A prospective observational study. J Mother



Child. 2022;26(1):43-49. doi:10.34763/jmotherandchild.20222601.d-22-00017.

41. Ribeiro M, Nunes I, Castro L, Costa-Santos C, Henriques TS. Machine learning models based on clinical indices and cardiotocographic features for discriminating asphyxia fetuses—Porto retrospective intrapartum study. *Front Public Health.* 2023;11:1099263. doi:10.3389/fpubh.2023.1099263.
42. Kanagal DV, Praveen BK. Intrapartum fetal monitoring and its correlation with umbilical cord blood pH and early neonatal outcome: a prospective cohort study. *J South Asian Feder Obst Gynae.* 2022;14(1):63-67. doi:10.5005/jp-journals-10006-2007.