

República Dominicana

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA - UNIBE



Facultad de Ciencias de la Salud
Escuela de Medicina

Proyecto final para optar por el título de:

OFTALMÓLOGO CIRUJANO

Título:

Comparación del nivel de energía disipada acumulada (CDE) en las técnicas Phaco Chop y Stop and Chop en facoemulsificación de cataratas, junio-diciembre del año 2025, en el Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN).

Sustentante:

Dra. Mariela Thomas García

Matrícula:

22-1177

Asesores:

Dr. Nelson Mañón (Asesor Clínico)
Dr. Ángel Campusano (Asesor Metodológico)

Los conceptos expuestos en la presente investigación son de la exclusiva responsabilidad de sustentante de esta.

Santo Domingo, Distrito Nacional

Junio 2026

I. Resumen

Introducción: La facoemulsificación es la técnica quirúrgica de referencia para el tratamiento de la catarata. La energía disipada acumulada (CDE) cuantifica la energía ultrasónica total entregada al ojo durante el procedimiento y constituye un marcador de eficiencia quirúrgica y predictor de daño endotelial corneal.

Objetivo: Comparar el nivel de energía disipada acumulada entre las técnicas de Phaco Chop y Stop and Chop en la facoemulsificación de cataratas.

Método: Se realizó un estudio observacional, analítico, comparativo y retrospectivo. Se analizaron 77 ojos de 40 pacientes intervenidos, mediante las técnicas Phaco Chop (n=45 ojos) y Stop and Chop (n=32 ojos) por un único cirujano experimentado, en el Departamento de Oftalmología del Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN), durante el período junio-diciembre del año 2025. Se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk, U de Mann-Whitney y correlación de Spearman ($p < 0.05$).

Resultados: La muestra presentó un predominio del sexo femenino (55.00%) y una edad media de 60.2 ± 11.0 años. El grado de catarata más frecuente fue el N2 (41.6%). El CDE medio fue de 3.04 ± 1.97 %-seg para el Phaco Chop y de 6.00 ± 3.57 %-seg para el Stop and Chop, con diferencia estadísticamente significativa ($U=327.50$, $p=0.0001$). Se confirmó correlación positiva fuerte entre grado de catarata y CDE ($\rho=0.708$, $p<0.0001$).

Conclusión: La técnica Phaco Chop generó significativamente menor CDE que el Stop and Chop, con una ventaja energética que se acentúa a medida que aumenta la densidad nuclear del cristalino. Estos hallazgos respaldan la selección del Phaco Chop como técnica de elección en cataratas de grado moderado a avanzado para minimizar el daño endotelial corneal.

Palabras claves: catarata, facoemulsificación, energía ultrasónica acumulada, Phaco chop y Stop and Chop.

II. Abstract

Introduction: Phacoemulsification is the gold-standard surgical technique for the treatment of cataracts. Cumulative Dissipated Energy (CDE) quantifies the total ultrasound energy delivered to the eye during the procedure and serves as a marker of surgical efficiency and a predictor of corneal endothelial damage.

Objective: To compare the level of Cumulative Dissipated Energy between the Phaco Chop and Stop-and-Chop techniques in cataract phacoemulsification.

Methods: An observational, analytical, comparative, and retrospective study was conducted. A total of 77 eyes from 40 patients who underwent cataract surgery using either the Phaco Chop (n = 45 eyes) or Stop-and-Chop (n = 32 eyes) technique were analyzed. All procedures were performed by a single experienced surgeon at the Department of Ophthalmology of Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles Teaching Hospital (INDEN) between June and December 2025. Statistical analyses included the Shapiro–Wilk test, Mann–Whitney U test, and Spearman correlation test, with a significance level set at $p < 0.05$.

Results: The sample showed a predominance of female patients (55.00%) with a mean age of 60.2 ± 11.0 years. The most frequent cataract grade was N2 (41.6%). Mean CDE was 3.04 ± 1.97 %-seconds for the Phaco Chop group and 6.00 ± 3.57 %-seconds for the Stop-and-Chop group, demonstrating a statistically significant difference ($U = 327.50$, $p = 0.0001$). A strong positive correlation was confirmed between cataract grade and CDE ($\rho = 0.708$, $p < 0.0001$).

Conclusion: The Phaco Chop technique generated significantly lower CDE than the Stop-and-Chop technique, with an energy-saving advantage that became more pronounced as lens nuclear density increased. These findings support the selection of Phaco Chop as the preferred technique for moderate to advanced cataracts in order to minimize corneal endothelial damage.

Keywords: cataract, phacoemulsification, cumulative dissipated energy, Phaco Chop, Stop-and-Chop.

III. Tabla De Contenido

I. Resumen	I
II. Abstract	II
III. Tabla De Contenido	III
IV. Listado de Tablas	V
V. Listado De Figuras	V
VI. Dedicatoria	VI
VII. Agradecimientos.....	VII
VIII.	
Introducción.....	1
1. EL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Preguntas de investigación	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Justificación	7
1.5. Limitaciones	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes	10
2.2. Marco Conceptual.....	12
2.2.1. Catarata.....	12
□ Concepto.....	12
□ Anatomía del cristalino.....	12
□ Tipos de cataratas.....	13
□ Clasificación de las cataratas Sistema Barraquer (BCN10)	13
□ Clasificación de catarata LOCS III	14
2.2.2. Facoemulsificación	14
□ Concepto e historia	15

□ Principios del ultrasonido en facoemulsificación	15
□ Parámetros del equipo de facoemulsificación	16
□ Irrigación	16
□ Aspiración	17
□ Endotelio corneal y su relevancia en la facoemulsificación.....	18
2.2.3. Energía disipada acumulada (CDE)	18
□ Concepto.....	18
2.2.4. Técnicas de facoemulsificación	19
□ Phaco Chop	19
□ Stop and Chop	19
2.3. Contextualizaciones	21
2.3.1. Reseña sector	21
2.3.2. Reseña Institucional	21
2.3.3. Aspectos sociales.....	21
2.3.4. Marco espacial	22
3. DISEÑO METODOLÓGICO	23
3.1. Tipo de estudio	24
3.2. Variables y su Operacionalización	25
3.3. Métodos y técnicas	25
3.4. Instrumento de recolección de datos	26
3.5. Selección de la población y muestra.....	27
3.5.1. Población.....	27
3.5.2. Muestra	27
3.6. Procedimientos para el procesamiento y análisis de datos.....	28
3.7. Consideraciones éticas	28
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	29
4.1. Resultados	30
5. DISCUSIÓN.....	34
5.1. Discusión de resultados	35
6. Conclusiones	38

6.1. Conclusiones	39
7. Recomendaciones	40
7.1. Recomendaciones	41
8. Bibliografía.....	43
8.1. Bibliografía	44
9. Apéndice	47
9.1. Listado de Apéndice.....	48
10. Anexos	52
10.1. Listado de anexos	53

I. Listado de Tablas

Tabla 1. Variables y su Operacionalización.....	25
---	----

II. Listado De Figuras

Figura 1. Distribución porcentual de la muestra según sexo.....	30
Figura 2. Distribución de la muestra según grupo etario.	30
Figura 3. Distribución de la muestra según grado de catarata (BCN10).	31
Figura 4. Distribución porcentual según técnica de facoemulsificación.....	31
Figura 5. Media del CDE según técnica de facoemulsificación (barras de error = ± 1 DE).	32
Figura 6. Media del CDE según grado de catarata (BCN10).	32
Figura 7. Media del CDE por técnica según grado de catarata (BCN10).	33
Figura 8. Resumen de discusión de resultados.....	35

III. Dedicatoria

A mi hijo Matías Rafael Zorrilla Thomas, este logro es tuyo. Estuviste acompañándome en mi panza en mi último año de residencia y trabajamos juntos hasta el día antes de tu nacimiento. Gracias por llegar a mi vida y llenarla de una gran motivación.

A mi esposo, este logro sin ti no hubiese sido tan llevadero.

Mi madre, cada día trabajo para enorgullecerte más.

A mis familiares que de una forma u otra me apoyaron en este proceso.

Mis amigos, compañeros, superiores, todos los que estuvieron cada día aportando su granito de arena.

IV. Agradecimientos

Agradecida en primer lugar con Dios, quien me ha permitido tener el discernimiento, la salud y la perseverancia necesaria en esta etapa de mi vida. Por esas oraciones contestadas en cada proceso. Por ser mi refugio de paz en los momentos de incertidumbre.

A mi madre, María Altagracia García Medina, por ser mi principal fuente de inspiración. Quien me reta a seguir creciendo, me impulsa a nunca darme por rendida y me acompaña con sus palabras sabias siempre que la necesito. Gracias por siempre estar para mí y brindarme tu amor incondicional para poder seguir adelante.

A mi esposo, Carlos Rafael Zorrilla Polanco, por ser el mejor compañero de vida. Por apoyarme desde el día 1, escuchándome, dándome ánimo, palabras de aliento y motivándome a seguir dando lo mejor de mí.

Mis maestros: Vianka Rivera, Rosa Fernández, Jacqueline Piña, Cynthia Cunillera, Federico Gómez, Jorge Feliciano, Faroche Melgen, Handel Rodríguez, Jeffer De los Santos, Bernarda Paulino, Luis Melo.

El Dr. Nelson Mañón, quien además de ser mi asesor, fue un excelente maestro, siempre dispuesto a enseñar con mucha amabilidad y paciencia. Gracias por incentivarnos a que el éxito en la vida consiste en trabajar en lo que nos gusta, en lo que nos apasiona y siempre tratar con dignidad y respeto a todos los pacientes.

Mis compañeros de residencia, gracias por el gran apoyo en estos 4 años.

Carlita Peña, quien siempre me apoyo en el quirófano, aclarándome dudas, corrigiéndome y aconsejándome.

V. Introducción

La facoemulsificación es la técnica más utilizada para la extracción de cataratas en todo el mundo, con altos estándares de eficacia y seguridad para el paciente. El empleo de diversas técnicas de facofragmentación puede contribuir a un menor consumo de energía ultrasónica y, en consecuencia, a una menor lesión de las células del endotelio corneal. La energía disipada acumulada (Cumulative Dissipated Energy, CDE) es la cantidad total de energía ultrasónica generada durante la facoemulsificación, expresada en porcentaje-segundos (%-seg), y se calcula mediante la siguiente ecuación: $CDE = \text{potencia media del facoemulsificador} \times \text{tiempo efectivo de ultrasonido}$. El valor de CDE obtenido depende de varios factores, entre ellos la densidad del núcleo del cristalino, la técnica de fragmentación empleada y la experiencia del cirujano (González-Salinas & Garza-León, 2017).

Reducir el consumo de ultrasonido durante la facofragmentación es una de las principales preocupaciones en la cirugía de cataratas (Shajari et al., 2019). Un CDE elevado se ha asociado con mayor daño a las estructuras intraoculares, en particular al endotelio corneal (Pérez et al., 2016). Con el fin de reducir el CDE, se han desarrollado mejoras tecnológicas que optimizan el flujo de fluidos y el tiempo de aspiración durante la facoemulsificación. Se ha estimado que la pérdida de células endoteliales en una facoemulsificación no complicada oscila entre el 4 % y el 25 % para núcleos de densidad regular, cifra que puede alcanzar aproximadamente el 42 % en núcleos de alta densidad (González-Salinas & Garza-León, 2017).

Se han descrito varias técnicas para optimizar el CDE durante la emulsificación nuclear, entre ellas Phaco Chop, Divide and Conquer y Stop and Chop (Chen et al., 2019). En 1991, Gimbel introdujo la técnica de nucleofractis "divide y vencerás", que consiste en dividir el núcleo en cuatro cuadrantes mediante escultura, adoptando la forma de una cruz. Gracias a su seguridad y reproducibilidad, este método se convirtió en la técnica estándar durante la curva de aprendizaje quirúrgico. En 1993, Nagahara introdujo el Phaco Chop, basado en la fragmentación mecánica del núcleo sin esculpido previo, lo que resultó en una reducción significativa de la energía requerida. Posteriormente, Koch publicó en 1994 su variante Stop and Chop, que combina un surco inicial con la fragmentación mecánica sucesiva de cada heminúcleo, integrando la seguridad del esculpido con la eficiencia energética del chopping.

Esta técnica ganó popularidad al suprimir el paso de mayor dificultad técnica del Phaco Chop puro, que resultaba laborioso para los cirujanos en formación (Davis & Geetha, 2016).

El propósito de este estudio es comparar el grado de energía disipada acumulada entre las técnicas Phaco Chop y Stop and Chop, con el fin de contribuir a la mejora de la práctica quirúrgica, favorecer la seguridad del procedimiento y optimizar los resultados visuales de los pacientes atendidos en el Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN).

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La Academia Americana de Oftalmología (AAO, 2024) define la catarata como una opacidad del cristalino que interfiere con la alineación del estímulo luminoso sobre la retina, produciendo deterioro progresivo de la visión que, de no recibir tratamiento oportuno, puede conducir a la ceguera. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023) reporta que la catarata afecta a más de 94 millones de personas en todo el mundo, constituyendo la principal causa de ceguera prevenible. A nivel mundial se realizan entre 24 y 28 millones de procedimientos quirúrgicos de catarata por año (Ruit et al., 2019).

Determinadas circunstancias pueden comprometer el resultado quirúrgico; entre ellas, el grado de energía disipada acumulada durante la facoemulsificación. A mayor CDE, mayor es el daño tisular intraocular y mayor el riesgo de deterioro de la agudeza visual posquirúrgica (Pérez et al., 2016). La elección de la técnica de facofragmentación influye de manera directa sobre el CDE generado: las técnicas de fragmentación mecánica minimizan el tiempo de ultrasonido activo, mientras que las técnicas mixtas incorporan una fase inicial de esculpido que incrementa el consumo energético basal.

La comparación sistemática de las técnicas más utilizadas, Stop and Chop y Phaco Chop, proporciona información valiosa para la toma de decisiones quirúrgicas individualizadas. Además, la evidencia comparativa sobre este tema es limitada en el contexto latinoamericano y prácticamente inexistente en el ámbito del Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN), lo que refuerza la pertinencia del presente estudio.

1.2. Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las variables demográficas de los pacientes que fueron sometidos a cirugía de catarata mediante las técnicas Phaco Chop y Stop and Chop en el Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN)?
- ¿Cuáles fueron los grados de catarata predominantes, según la clasificación BCN10, en los pacientes intervenidos con cada una de las técnicas de facoemulsificación estudiadas?
- ¿Cuál fue el valor promedio de energía disipada acumulada registrado para cada técnica de facoemulsificación en la muestra estudiada?
- ¿Existió correlación entre el grado de catarata y el consumo de energía disipada acumulada durante la facoemulsificación?
- ¿Existe diferencia estadísticamente significativa en el CDE generado entre las técnicas Phaco Chop y Stop and Chop?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Comparar el nivel de energía disipada acumulada (CDE) entre las técnicas Phaco Chop y Stop and Chop en la facoemulsificación de cataratas realizada en el Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN), durante el período junio-diciembre del año 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las variables sociodemográficas de los pacientes incluidos en la muestra.
- Identificar los grados de catarata predominantes en los pacientes intervenidos con cada técnica, según la clasificación BCN10.
- Describir el valor promedio de energía disipada acumulada registrado para cada técnica de facoemulsificación.
- Correlacionar el grado de catarata con el consumo de energía disipada acumulada durante la facoemulsificación.
- Determinar si existe diferencia estadísticamente significativa en el CDE entre las técnicas Phaco Chop y Stop and Chop.

1.4. Justificación

La cirugía de catarata es uno de los procedimientos quirúrgicos más frecuentes en oftalmología y su éxito depende, en gran medida, de la optimización de la técnica empleada. El presente estudio cobra relevancia al generar evidencia sobre el desempeño energético de las técnicas de facofragmentación más utilizadas, contribuyendo a la mejora continua de los resultados quirúrgicos, especialmente en lo referente al uso eficiente de la energía ultrasónica durante la facoemulsificación.

La utilización excesiva de energía ultrasónica se ha asociado a un mayor riesgo de complicaciones postquirúrgicas, entre ellas el edema corneal transitorio y, en casos de daño endotelial severo, la queratopatía bullosa, condición de resolución potencialmente irreversible que puede requerir trasplante corneal (Walkow et al., 2000). Estas alteraciones impactan negativamente en la recuperación visual del paciente y pueden comprometer la calidad visual final, limitando el objetivo central de la cirugía de catarata: restituir la funcionalidad visual y la independencia del paciente (Bourne et al., 2003).

En el Departamento de Oftalmología del Hospital Escuela Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN), la elección de la técnica de facofragmentación se realiza habitualmente con base en la preferencia del cirujano, sin contar con datos comparativos propios. Los hallazgos de este estudio podrían orientar la toma de decisiones clínicas individualizadas según la densidad nuclear de cada paciente, reducir la incidencia de complicaciones postoperatorias, optimizar los resultados visuales y fortalecer la confianza del paciente en el manejo quirúrgico de su patología, consolidando el impacto clínico y social de la cirugía de catarata en nuestra institución.

1.5. Limitaciones

El presente estudio presenta limitaciones inherentes a su diseño retrospectivo que deben considerarse al interpretar sus resultados.

En primer lugar, diversas variables intraoperatorias no pudieron ser controladas ni estandarizadas, dado que los datos fueron extraídos de expedientes quirúrgicos y no de un protocolo prospectivo. Entre estas variables se encuentran el volumen de material viscoelástico utilizado, el nivel de cooperación del paciente durante el procedimiento, las variaciones en los parámetros del equipo de facoemulsificación según la preferencia del cirujano, y las condiciones anatómicas individuales de cada ojo. Estas variables pueden influir sobre el CDE registrado de manera independiente a la técnica quirúrgica empleada, lo que podría introducir sesgos en la comparación entre grupos.

En segundo lugar, la calidad e integridad de los expedientes clínicos constituyó una limitación operativa. Aquellos expedientes sin registro completo del CDE o del grado de catarata debieron ser excluidos, afectando el tamaño final de la muestra.

En tercer lugar, la clasificación del grado de catarata está sujeta a variabilidad interobservador, dado que la gradación mediante la escala BCN10 depende de la apreciación subjetiva del cirujano en la lámpara de hendidura.

Finalmente, al tratarse de un estudio unicéntrico, los resultados no son directamente extrapolables a otros contextos institucionales o a cirujanos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Sinha et al. (2023) llevaron a cabo un ensayo clínico prospectivo aleatorizado en un hospital universitario terciario de referencia nacional, publicado en diciembre de 2023 en el Indian Journal of Ophthalmology. El objetivo fue comparar tres técnicas de facoemulsificación: Stop and Chop (grupo A), chop directo (grupo B) y chop terminal (grupo C), en 307 ojos distribuidos en tres grupos. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en el grosor corneal central postoperatorio en cataratas NS II ($p < 0.001$) y NS IV ($p = 0.005$), con el CDE más bajo en el grupo de chop terminal en todas las densidades evaluadas.

Shajari et al. (2021) realizaron un estudio prospectivo en Alemania comparando el CDE entre la técnica Phaco Chop y la técnica de divide y vencerás en 120 ojos con cataratas de densidad moderada a avanzada. Los resultados demostraron que el Phaco Chop generó valores de CDE significativamente menores (media: 8.3 %-seg) frente a divide y vencerás (media: 14.7 %-seg; $p < 0.001$).

Matsuura y Takanashi (2022) publicaron en Clinical Ophthalmology la técnica stop-and-press, modificación del Stop and Chop para cataratas de núcleo blando a moderado, desarrollada en el Hospital Nojima, Japón. Los autores demostraron que eliminando la necesidad de oclusión y estabilizando el heminúcleo por presión directa contra el saco capsular se logra una división más segura y eficiente, reduciendo el riesgo de perforación nuclear y ruptura de cápsula posterior.

Fernández-Muñoz et al. (2023) publicaron un estudio retrospectivo realizado en el Departamento de Cirugía del Segmento Anterior de la Asociación para Evitar la Ceguera en México IAP. Analizaron 90 ojos en tres grupos: divide y vencerás (CDE: 44.52 ± 23.00 %-seg), Ultrachopper (43.27 ± 23.18 %-seg) y Faco-Chop (20.11 ± 11.06 %-seg), con diferencias significativas a favor del Faco-Chop ($p < 0.0001$).

Upasani y Daigavane (2024) publicaron en Cureus una revisión de la literatura evaluando los efectos del chop directo y el Stop and Chop sobre las células endoteliales corneales y la agudeza visual bajo anestesia tópica. Los autores destacaron que el chop directo reduce el

tiempo de facoemulsificación y el consumo de energía, mientras que el Stop and Chop ofrece mayor control y seguridad durante la curva de aprendizaje. Concluyeron que la selección de la técnica debe individualizarse según las características del paciente, la densidad nuclear y la experiencia del cirujano, aspectos presentes en el diseño de esta investigación.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Catarata

- **Concepto**

Desde el punto de vista clínico, la catarata se define como la pérdida de la transparencia normal del cristalino, estructura encargada de enfocar la luz sobre la retina. Cuando esta opacidad progresa, la cantidad de luz que alcanza la retina disminuye, afectando la nitidez visual de manera gradual. En la mayoría de los casos, el proceso es bilateral aunque no siempre simétrico, y transcurre sin dolor, lo que puede llevar al paciente a subestimar el deterioro de su visión durante meses o incluso años (AAO, 2025).

Entre las manifestaciones más frecuentes figuran la visión borrosa, la dificultad para ver con poca iluminación, el deslumbramiento ante fuentes luminosas intensas y la percepción de halos. A nivel mundial, la catarata constituye la primera causa de ceguera susceptible de tratamiento. Dado que hasta la fecha no se dispone de ningún fármaco capaz de revertir ni detener su formación, la extracción quirúrgica del cristalino opaco y su reemplazo por una lente intraocular (LIO) transparente representa el único abordaje terapéutico definitivo (AAO, 2025).

- **Anatomía del cristalino**

El cristalino es una estructura de morfología biconvexa, completamente avascular y de notable transparencia, situado en el segmento anterior del globo ocular. Su posición entre el iris y el humor vítreo es mantenida por las zónulas de Zinn, un conjunto de fibras que lo conectan al cuerpo ciliar. Estructuralmente, se distinguen tres componentes principales: una membrana basal externa denominada cápsula, una capa de células epiteliales activas en su cara anterior, y las fibras del cristalino propiamente dichas, que forman tanto la corteza superficial como el núcleo central (Remington, 2012).

Una característica singular de este órgano es que sus células no se renuevan ni se eliminan a lo largo de la vida: las fibras más antiguas quedan atrapadas en el

núcleo y se compactan progresivamente con el paso de los años. Este proceso de densificación nuclear explica por qué el cristalino pierde elasticidad con la edad, fenómeno responsable de la presbicia, y por qué el núcleo de cataratas seniles avanzadas presenta una consistencia considerablemente mayor que el de cataratas incipientes, con implicaciones directas sobre la energía necesaria durante la facoemulsificación (Remington, 2012).

- **Tipos de cataratas**

Las cataratas pueden clasificarse atendiendo a criterios etiológicos, morfológicos o por su localización dentro del cristalino. Desde el punto de vista de su origen, las cataratas relacionadas con el envejecimiento —también llamadas seniles— son con mucho las más comunes, aunque su patogénesis exacta sigue siendo objeto de investigación. En segundo lugar, en frecuencia se encuentran las cataratas traumáticas, que pueden originarse por contusiones, heridas penetrantes, descarga eléctrica, quemaduras químicas o exposición a radiación ionizante (AAO, 2025).

Otras formas etiológicas incluyen las cataratas metabólicas, vinculadas a enfermedades sistémicas como la diabetes mellitus, la galactosemia o la distrofia miotónica; las cataratas congénitas; las secundarias a patologías oculares crónicas como la uveítis o el glaucoma; y las inducidas por fármacos, entre los cuales los corticosteroides de uso sistémico o tópico prolongado son el grupo de mayor riesgo (AAO, 2025). Desde la perspectiva quirúrgica, las cataratas seniles se agrupan según la zona del cristalino afectada en nucleares, corticales y subcapsulares posteriores, cada una con propiedades biomecánicas distintas que influyen sobre la planificación técnica y el consumo energético de la facoemulsificación (Lorente & Medicate, 2008).

- **Clasificación de las cataratas Sistema Barraquer (BCN10)**

Para cuantificar la densidad nuclear del cristalino de cara a la planificación quirúrgica, el profesor Rafael I. Barraquer desarrolló el sistema BCN10 (Barcelona Cataract Nuclear Classification), una escala de gradación decimal que abarca desde el grado N1 hasta el N10. La clasificación se realiza en la lámpara de

hendidura evaluando el color y la opacidad del núcleo tanto con iluminación difusa como con retroiluminación, y fue formalmente validada por Barraquer et al. (2017).

Los grados bajos de la escala (N1 a N3) corresponden a núcleos de consistencia blanda, con tonalidad amarillenta tenue; los grados intermedios (N4 a N6) representan una densidad moderada y coloración ámbar progresiva; y los grados superiores (N7 a N10) se asocian a núcleos de alta dureza o brunescentes, de coloración marrón oscura o negra. Estos últimos implican mayor resistencia a la fragmentación y, en consecuencia, mayor requerimiento de energía durante la facoemulsificación. La utilidad práctica de esta clasificación radica en que permite al cirujano anticipar la complejidad técnica del procedimiento y seleccionar la estrategia de fragmentación más adecuada para cada caso (Barraquer et al., 2017). Ver anexo 1.

- **Clasificación de catarata LOCS III**

El sistema LOCS III (Lens Opacities Classification System III), publicado por Chylack et al. en 1993 como evolución del LOCS II, constituye uno de los instrumentos estandarizados más ampliamente utilizados para la clasificación clínica de las cataratas. Su metodología se basa en la comparación visual de imágenes obtenidas en lámpara de hendidura con imágenes de referencia establecidas: seis para la opacidad nuclear (NO), cinco para la opacidad cortical (C) y cinco para la subcapsular posterior (P). La puntuación se asigna mediante una escala decimal continua, lo que le otorga mayor sensibilidad para detectar cambios finos en comparación con sistemas de categorías discretas (Chylack et al., 1993).

Entre sus fortalezas destacan la buena reproducibilidad interobservador y su extensa validación en estudios epidemiológicos prospectivos y ensayos clínicos. Sin embargo, su aplicación práctica en el contexto quirúrgico cotidiano resulta menos ágil que la del BCN10, por lo que ambos sistemas pueden utilizarse de manera complementaria según el objetivo clínico o investigativo (Chylack et al., 1993; Lorente & Medicate, 2008).

2.2.2. Facoemulsificación

- **Concepto e historia**

La facoemulsificación es la técnica quirúrgica de referencia para el tratamiento de la catarata en el mundo moderno. Fue desarrollada por Charles Kelman en 1967, quien concibió la idea de fragmentar el cristalino mediante vibraciones ultrasónicas a través de una incisión de pequeño tamaño, revolucionando la cirugía ocular de la época.

La técnica se fue refinando progresivamente durante las décadas siguientes con la incorporación de dispositivos viscoelásticos oftálmicos (OVDs), el desarrollo de lentes intraoculares plegables, la introducción de la capsulorrexis circular continua (CCC) y las mejoras en el rendimiento de los equipos de facoemulsificación (Hennig, A., Puri, L. R. & Sharma, H., 2014).

- **Principios del ultrasonido en facoemulsificación**

La energía ultrasónica empleada en facoemulsificación es generada por un transductor piezoeléctrico integrado en el cabezal del aparato. Este componente convierte la energía eléctrica en vibraciones mecánicas de alta frecuencia, habitualmente entre 27 y 60 kHz, que se transmiten a una punta metálica de titanio capaz de oscilar en dirección longitudinal, torsional o en una combinación de ambas, según el diseño del equipo (Serafino & Auran, 2016).

La rotura del tejido nuclear resulta de la interacción de tres fenómenos físicos distintos: el impacto mecánico directo producido por el movimiento de la punta, el efecto de cavitación (generación y colapso violento de microburbujas en el líquido irrigante que liberan energía de manera localizada) y el denominado acoustic streaming o chorro acústico, corriente de fluido que arrastra los fragmentos nucleares hacia el puerto de aspiración. Desde el modo continuo original, los sistemas han evolucionado incorporando modos de emisión en pulso, en ráfaga y tecnologías torsionales como el OZil® (Alcon) y el Ellips FX® (Johnson & Johnson). Estos últimos modos han demostrado reducir la producción de calor, la

turbulencia en cámara anterior y, en consecuencia, el daño al endotelio corneal respecto al modo continuo (Berdahl et al., 2010; Serafino & Auran, 2016).

- **Parámetros del equipo de facoemulsificación**

El correcto entendimiento y ajuste de los parámetros del equipo de facoemulsificación es fundamental para optimizar la eficiencia quirúrgica y minimizar el riesgo de complicaciones intraoperatorias.

Los parámetros principales son: la potencia del ultrasonido (expresada como porcentaje de la amplitud máxima de vibración de la punta), el caudal de aspiración (flujo volumétrico del líquido aspirado, expresado en cc/min) y el nivel de vacío (presión negativa en el tubo de aspiración, expresada en mmHg). La interacción dinámica entre estos tres parámetros determina la eficiencia del procedimiento y la seguridad para las estructuras oculares (AAO, 2023).

- **Irrigación**

La irrigación es un componente esencial e ininterrumpido durante la facoemulsificación. El líquido irrigante, habitualmente solución salina balanceada (BSS), ingresa a la cámara anterior a través de los orificios laterales de la manga de silicona que recubre la sonda ultrasónica, con un paso mínimo por la incisión principal.

Su función es múltiple: mantiene la presión intraocular y la estabilidad de la cámara anterior, genera la corriente de fluido que facilita la remoción de fragmentos nucleares, y enfría la punta de titanio del facoemulsificador, reduciendo el riesgo de quemaduras en el sitio de la incisión corneal.

La presión de irrigación se regula principalmente modificando la altura del frasco de BSS respecto al nivel del ojo del paciente, aunque los equipos modernos incorporan sistemas de presión activa con mayor precisión de control (Benjamin, L., 2018).

- **Aspiración**

El sistema de aspiración determina la forma en que los fragmentos del cristalino son atraídos y retirados del campo quirúrgico. El caudal de aspiración es la velocidad con la que el fluido y los fragmentos se desplazan hacia el puerto de la punta; el vacío es la presión negativa que, al producirse una oclusión del puerto por un fragmento nuclear, mantiene fijo dicho fragmento y permite su fragmentación eficiente. Dominar estos parámetros es indispensable para evitar daños en el iris, la cápsula y el endotelio corneal (Gurnani, B., 2026).

En los equipos modernos de facoemulsificación se utilizan dos tipos principales de bombas de aspiración:

- **Bombas peristálticas:** El sistema genera flujo al desplazar rodillos sobre un tubo flexible. El control del caudal de aspiración es directo mediante el pedal del equipo.

Este tipo de bomba ofrece una respuesta predecible ante la oclusión del puerto, generando vacío progresivo mientras el fragmento permanece ocluido. Al liberarse la oclusión, el vacío acumulado puede provocar un surge o colapso brusco de la cámara anterior si no está correctamente gestionado (AAO, 2023).

- **Bombas Venturi (vacío):** Crean vacío de manera directa mediante el efecto Venturi: un flujo de gas a presión genera una depresión proporcional a su velocidad.

El control primario es sobre el nivel de vacío, que a su vez induce el flujo de aspiración de manera secundaria. Proporcionan una respuesta más inmediata al pedal, lo que las hace adecuadas para cirujanos con experiencia en técnicas de chopping de alta eficiencia (AAO, 2023).

- **Endotelio corneal y su relevancia en la facoemulsificación**

La cara posterior de la córnea está tapizada por una capa única de células hexagonales denominada endotelio corneal, cuya función esencial es preservar la transparencia corneal. Para lograrlo, estas células ejercen un transporte activo continuo de iones y agua desde el estroma corneal hacia la cámara anterior, compensando la presión oncótica que tendería a provocar edema estromal. Una característica crítica del endotelio humano es su escasa o nula capacidad de regeneración bajo condiciones fisiológicas normales: cuando una célula se pierde, las células vecinas se expanden y migran para cubrir el espacio, generando cambios morfológicos conocidos como polimegatismo (variabilidad en el tamaño celular) y pleomorfismo (pérdida de la hexagonalidad regular) (Bourne, 2003).

En adultos jóvenes sanos, la densidad celular endotelial oscila entre 2.500 y 3.500 células/mm², y declina de forma fisiológica alrededor de un 0.5% anual. Por debajo de valores aproximados de 500 a 700 células/mm², el mecanismo de bomba resulta insuficiente y puede desarrollarse un edema corneal crónico o queratopatía bullosa que compromete de manera irreversible la visión. La facoemulsificación representa el principal factor iatrogénico de pérdida endotelial aguda, actuando a través del traumatismo mecánico de la punta o los fragmentos nucleares, el daño térmico por energía ultrasónica, la toxicidad de los viscoelásticos mal utilizados y el efecto de la cavitación ultrasónica (Bourne, 2003; Walkow et al., 2000).

2.2.3. Energía disipada acumulada (CDE)

- **Concepto**

Durante la facoemulsificación, la cantidad total de energía ultrasónica efectivamente entregada al ojo se expresa mediante el parámetro denominado energía disipada acumulada (del inglés Cumulative Dissipated Energy, CDE), cuya unidad de medida son los porcentaje-segundos (%-seg). Su cálculo resulta del producto entre la potencia media empleada, expresada como porcentaje de la amplitud máxima del equipo, y el tiempo durante el cual el ultrasonido estuvo activo. Desarrollado originalmente por Alcon Laboratories, el CDE integra en un

único valor tanto la intensidad como la duración del ultrasonido, lo que lo convierte en un indicador más fiel del impacto energético real sobre los tejidos oculares que el tiempo de ultrasonido por sí solo (González-Salinas & Garza-León, 2017; Palacios et al., 2023).

Desde el punto de vista clínico, el CDE se ha consolidado como un marcador de eficiencia quirúrgica y como predictor indirecto del daño al endotelio corneal. Cuanto mayor sea el CDE generado durante el procedimiento, mayor es la exposición del ojo a la energía ultrasónica y, en consecuencia, mayor el riesgo de pérdida celular endotelial, inflamación postoperatoria y edema corneal. Por este motivo, minimizar el CDE sin comprometer la eficiencia de la remoción del cristalino es uno de los objetivos prioritarios de las técnicas modernas de facoemulsificación, incluyendo las técnicas de chopping mecánico como el Phaco Chop y el Stop and Chop (González-Salinas & Garza-León, 2017; Palacios et al., 2023).

2.2.4. Técnicas de facoemulsificación

- **Phaco Chop**

Es un método de facoemulsificación bimanual descrito por Kunihiro Nagahara en 1992, en el cual el núcleo del cristalino es fragmentado mecánicamente dentro del saco capsular, utilizando la punta del instrumento de facoemulsificación para fijar el núcleo con vacío y una chopper para dividirlo, disminuyendo el requerimiento de energía ultrasónica.

Esta técnica genera menor estrés sobre las zónulas y la capsula que sustentan el cristalino, debido a que las fuerzas de fractura se direccionan hacia el instrumento opuesto y no hacia la capsula o las zónulas. También esta técnica supone una mayor eficiencia quirúrgica, sobre todo en núcleos duros (Moore RL, De Rojas Silva V, 2012).

- **Stop and Chop**

En 1994, Paul Koch propuso la técnica Stop and Chop como una alternativa que combina elementos del esculpido convencional con el principio del chopping mecánico. En su

concepción original, el procedimiento se inicia de la misma manera que la técnica de divide y vencerás: se talla un surco central en el núcleo con ultrasonido. Sin embargo, antes de completar la división bipartita mediante el surco, la emisión de ultrasonido se interrumpe — de ahí el término stop— en el momento en que el surco ha alcanzado la profundidad y extensión suficientes. A partir de ese punto, el núcleo se separa en dos heminúcleos mediante fuerzas mecánicas, y cada uno de ellos se subdivide posteriormente en fragmentos más pequeños que son emulsificados de forma individual (Koch, 1994).

Esta combinación confiere a la técnica una curva de aprendizaje más accesible que el Phaco Chop puro, ya que la fase inicial de esculpido proporciona al cirujano mayor visibilidad y control sobre el núcleo antes de aplicar el chopping. Resulta especialmente apropiada en cataratas de densidad moderada a alta. Su principal limitación energética radica precisamente en la fase de esculpido inicial: al requerir ultrasonido activo para construir el surco, genera un CDE basal que el Phaco Chop —donde la fragmentación es predominantemente mecánica desde el inicio— no produce, lo que supone una mayor exposición energética al endotelio corneal (Koch, 1994; Moore & De Rojas Silva, 2012).

2.3. Contextualizaciones

2.3.1. Reseña sector

El Instituto Nacional De Diabetes, Endocrinología y Nutrición (INDEN) también conocido como Hospital Escuela Dr. Jorge Abrahán Hazoury Bahles, está ubicado en la urbanización de los Ríos, Santo Domingo República Dominicana.

2.3.2. Reseña Institucional

El Instituto Nacional de la Diabetes, Endocrinología y Nutrición (INDEN), este comenzó su función en octubre 26 del año 1972. En este, el entonces presidente Joaquín Balaguer discretamente diseñó una superficie de 10, 534,417 metros cuadrados y se constituye como hospital escuela de referencia nacional.

Misión: Brindar atención médica integral con los más altos niveles de excelencia, basada en la investigación y actualización científica constante, soportada por un equipo humano altamente calificado y motivado.

Visión: Ser la primera institución de atención integral a la salud, con alta calidad humana.

Valores:

- Equidad, solidaridad y universalidad del servicio.
- Sentido de innovación.
- Vinculación y lealtad de los empleados con la organización.
- Respeto hacia los valores éticos y la dignidad humana.

2.3.3. Aspectos sociales

El Instituto Nacional De Diabetes, Endocrinología y Nutrición (INDEN), se enfoca en brindar atención especializada, multidisciplinaria y de alta calidad a todos los pacientes que acuden a la institución, sin embargo está destinado mayoritariamente a los pacientes de escasos recursos; ya que cuentan con programa en trabajo social con ayuda del patronato contra la diabetes, se ayuda en los gastos asistenciales a

los pacientes que lo necesitan, también se ayuda con los medicamentos de bajo costo en la farmacia de la institución.

2.3.4. Marco espacial

El Instituto Nacional de Diabetes, Endocrinología y Nutrición (INDEN) está ubicado en la calle paseo del Yaque, sector Los Ríos, Santo Domingo, República Dominicana.

El hospital tiene los límites siguientes: al norte, limitada con la calle Majoma y esta próximo al Instituto Dominicano de Cardiología; al sur, limita con la calle Paseo del Yaque; al este, limita con la calle Paseo del Yaque; al oeste, limita con una vía secundaria entre la calle Majoma y la calle Paseo del Yaque.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

Se realizó un estudio observacional, analítico, comparativo y retrospectivo con fin de Comparar el nivel de energía disipada acumulada entre las técnicas de Phaco Chop y Stop and Chop en la facoemulsificación de cataratas. La fuente de información fueron los expedientes quirúrgicos de los pacientes intervenidos en el Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN), durante el período junio-diciembre del año 2025.

3.2. Variables y su Operacionalización

Tabla 1. Variables y su Operacionalización

Variable	Definición conceptual	Tipo / Subtipo	Indicador / Medición
Sexo	Condición biológica del paciente.	Cualitativa nominal	Masculino / Femenino
Edad	Tiempo transcurrido desde el nacimiento del paciente hasta el momento de la cirugía.	Cuantitativa continua	Años cumplidos según expediente clínico 40-49 50-59 60-69 70-79 >80
Grado de catarata	Nivel de opacidad del cristalino según clasificación clínica.	Cualitativa ordinal	Grados de severidad (N0 hasta N10)
Técnica de facoemulsificación	Método utilizado para la fragmentación del núcleo durante la facoemulsificación.	Cualitativa nominal	Phaco Chop / Stop and Chop
Energía disipada acumulada (CDE)	Cantidad total de energía ultrasónica utilizada durante la facoemulsificación para fragmentar el núcleo del cristalino.	Cuantitativa continua	Valor numérico de CDE registrado en el equipo de facoemulsificación 0.00–10.00: bajo 10.01–20.00: moderado 20.01–40.00: alto

Nota: La categorización del CDE se basa en los rangos reportados por Fernández-Muñoz et al. (2023) y Palacios et al. (2023). La clasificación BCN10 fue validada por Barraquer

3.3 Métodos y técnicas

Se identificaron los expedientes de pacientes que cumplen los criterios de inclusión. El instrumento de recolección de datos fue una ficha de observación diseñada por el equipo de investigador. Se realizó un análisis documental retrospectivo de los expedientes médicos.

Los expedientes evaluados correspondieron a pacientes a los que se les realizó cirugías de cataratas con las técnicas de Phaco chop o Stop and Chop, por un único cirujano con experiencia acreditada para ambas técnicas. Esta condición fue establecida como medida de control para minimizar la variabilidad interoperador en los valores de CDE registrados.

3.4. Instrumento de recolección de datos

El instrumento utilizado fue una ficha de recolección de datos diseñada por el equipo investigador, estructurada en tres secciones.

La primera sección recogió las variables demográficas del paciente: sexo y edad.

La segunda sección registró las variables clínicas preoperatorias: el grado de catarata según la clasificación BCN10.

La tercera sección incluyó las variables intraoperatorias: la técnica de facoemulsificación empleada (Phaco Chop o Stop and Chop) y el valor de CDE en porcentaje-segundos (%-seg), obtenido directamente del reporte del equipo de facoemulsificación al finalizar cada procedimiento. A cada expediente se le asignó un código numérico para garantizar la confidencialidad de los datos.

3.5. Selección de la población y muestra

3.5.1. Población

La población estará constituida por todos los pacientes sometidos a cirugía de catarata mediante las técnicas Stop and chop y Phaco chop en el Departamento de Oftalmología del Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN), durante el período junio-diciembre del año 2025.

3.5.2. Muestra

Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia. La muestra final quedó conformada por 77 ojos de 40 pacientes (de los cuales 37 se le operaron los dos ojos y 3 solo se le operó 1 ojo). Del total de ojos incluidos, 45 fueron intervenidos con Phaco Chop y 32 con Stop and Chop.

- **Criterios de inclusión**

- A. Expedientes clínicos con registro completo de: técnica empleada, valor de CDE, grado de catarata según BCN10, sexo y edad.
- B. Pacientes de 40 años o más al momento de la cirugía.
- C. Cirugías realizadas por un único cirujano con experiencia acreditada en ambas técnicas.
- D. Pacientes operados durante el período junio-diciembre del año 2025.

- **Criterios de exclusión**

- A. Pacientes sometidos a cirugías combinadas.
- B. Pacientes con antecedentes de enfermedad corneal, glaucoma, patología retiniana u otra condición ocular que pudiera influir sobre los parámetros intraoperatorios.
- C. Expedientes con valor de CDE no registrado, ilegible o inconsistente.

3.6. Procedimientos para el procesamiento y análisis de datos

La información fue tabulada en Microsoft Excel y procesada con Python 3.12, utilizando las bibliotecas pandas, scipy.stats y numpy. En la etapa descriptiva se calcularon frecuencias, porcentajes, medidas de tendencia central y dispersión.

En la etapa analítica, la prueba de Shapiro-Wilk verificó la normalidad de la distribución del CDE; dado que el grupo Phaco Chop no siguió distribución normal ($W=0.947$, $p=0.038$), se aplicó la prueba U de Mann-Whitney para comparar el CDE entre grupos; el coeficiente de correlación de Spearman evaluó la relación entre grado de catarata y CDE; y la prueba de chi cuadrado (χ^2) comparó variables cualitativas. En todos los análisis se estableció un nivel de significancia de $p < 0.05$.

3.7. Consideraciones éticas

El presente estudio fue conducido en estricto apego a los principios éticos que rigen la investigación científica en seres humanos. El protocolo contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Iberoamericana (UNIBE) y del Comité de Ética e Investigación del Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN).

El estudio se rigió por los principios de la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2013) y por los principios bioéticos de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia. Dado el diseño retrospectivo, no se requirió consentimiento informado individual. A cada expediente se le asignó un código numérico para garantizar la confidencialidad de los datos.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

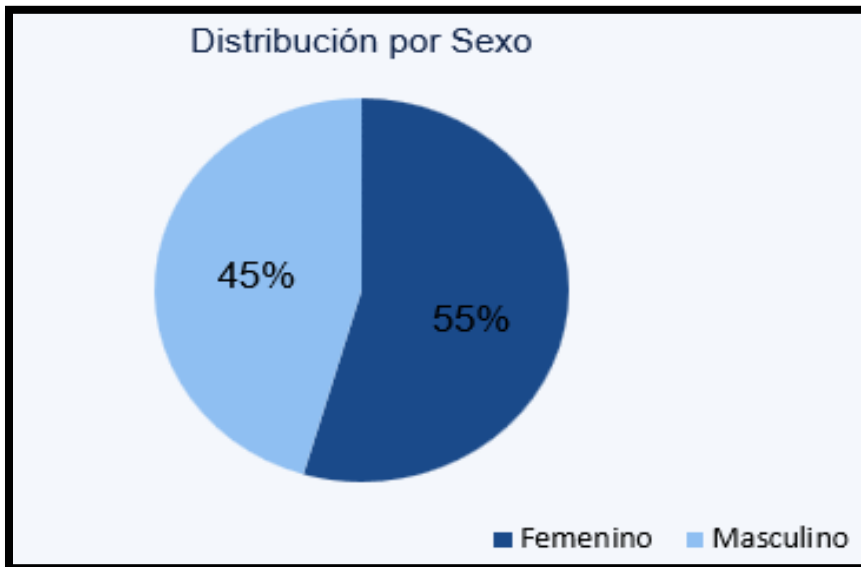


Figura 1. Distribución porcentual de la muestra según sexo.

De los 40 pacientes incluidos en el estudio, el 55.00% correspondió al sexo femenino (n=22) y el 45.00% al sexo masculino (n=18).

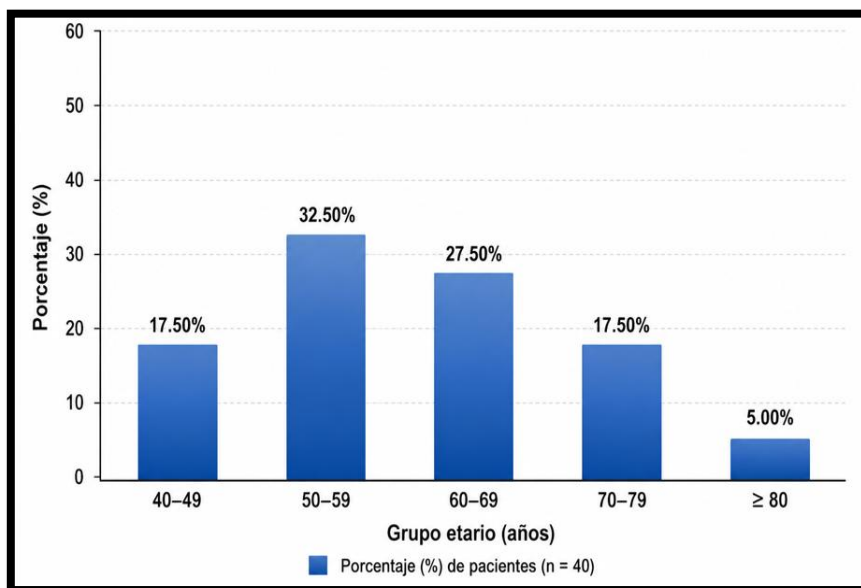


Figura 2. Distribución de la muestra según grupo etario.

La edad de los pacientes osciló entre 42 y 84 años, con una media de 60.2 ± 11.0 años y una mediana de 59.0 años. El grupo etario más frecuente fue el de 50 a 59 años, con 13 pacientes (32.50%), seguido del grupo de 60 a 69 años con 11 pacientes (27.50%). Los

grupos de menor representación fueron el de 40 a 49 años (n=7, 17.50%), el de 70 a 79 años (n=7, 17.50%) y el de 80 años o más (n=2, 5.00%).

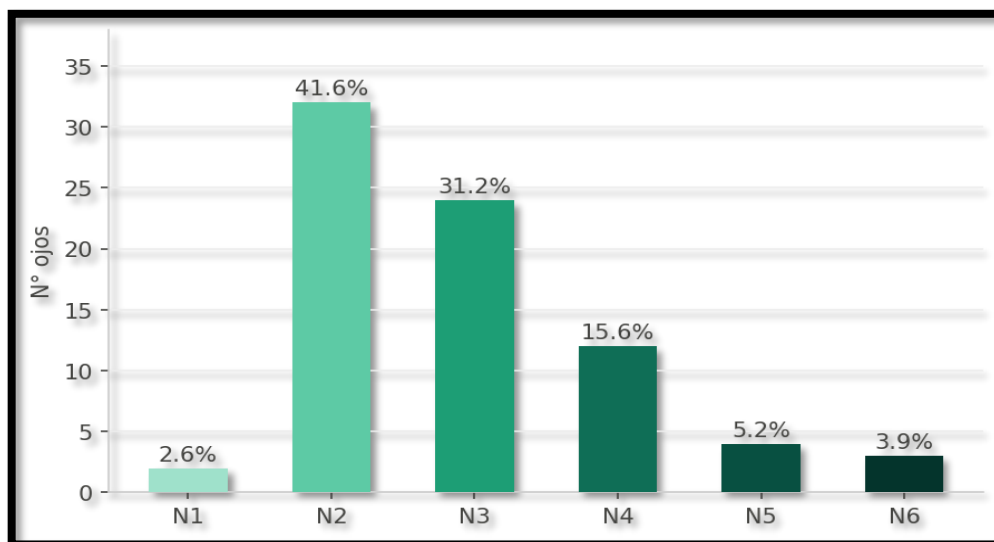


Figura 3. Distribución de la muestra según grado de catarata (BCN10).

El grado de catarata predominante en la muestra fue el N2, presente en 32 ojos (41.6%), seguido del N3 con 24 ojos (31.2%). Al agrupar según la clasificación funcional de la escala BCN10, el 75.3% de los ojos (n=58) correspondió a cataratas de núcleo blando (N1–N3) y el 24.7% restante (n=19) a cataratas de densidad moderada (N4–N6). No se registraron cataratas de núcleo duro ni brunescence (N7–N10) en la muestra estudiada.

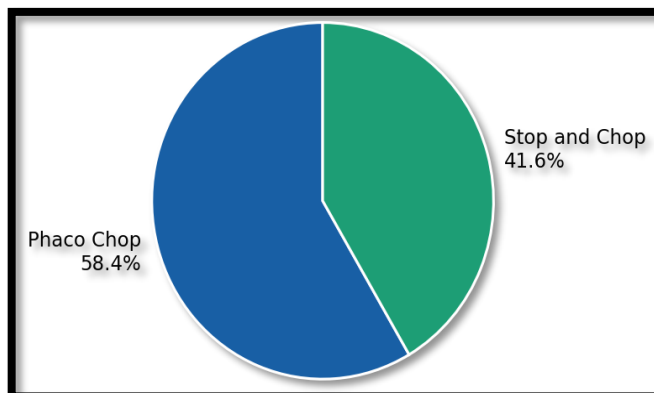


Figura 4. Distribución porcentual según técnica de facoemulsificación.

De los 77 ojos incluidos en el estudio, 45 (58.4%) fueron intervenidos mediante la técnica Phaco Chop y 32 (41.6%) mediante la técnica Stop and Chop.

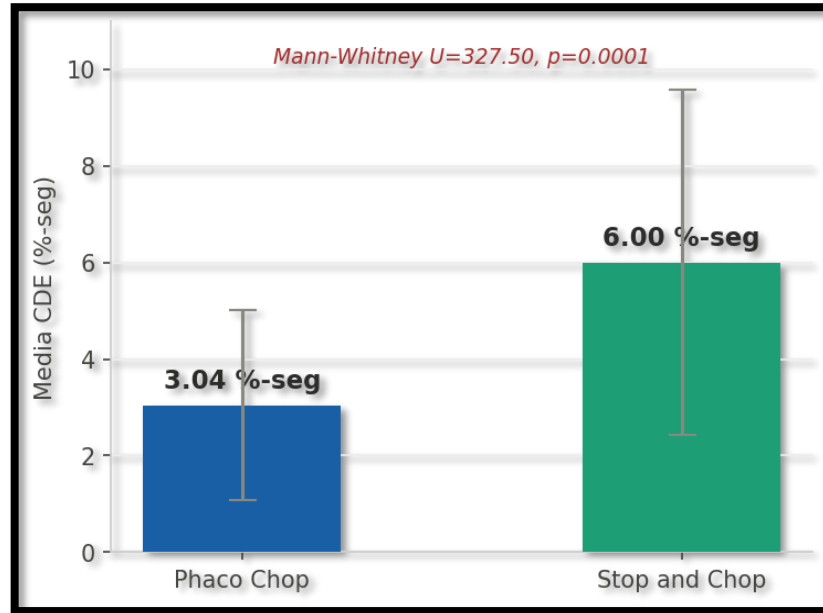


Figura 5. Media del CDE según técnica de facoemulsificación (barras de error = ± 1 DE).

El CDE medio registrado para la técnica Phaco Chop fue de 3.04 ± 1.97 %-seg (mediana: 2.82), mientras que para la técnica Stop and Chop fue de 6.00 ± 3.57 %-seg (mediana: 5.21), representando una diferencia de aproximadamente el 97% entre ambas técnicas.

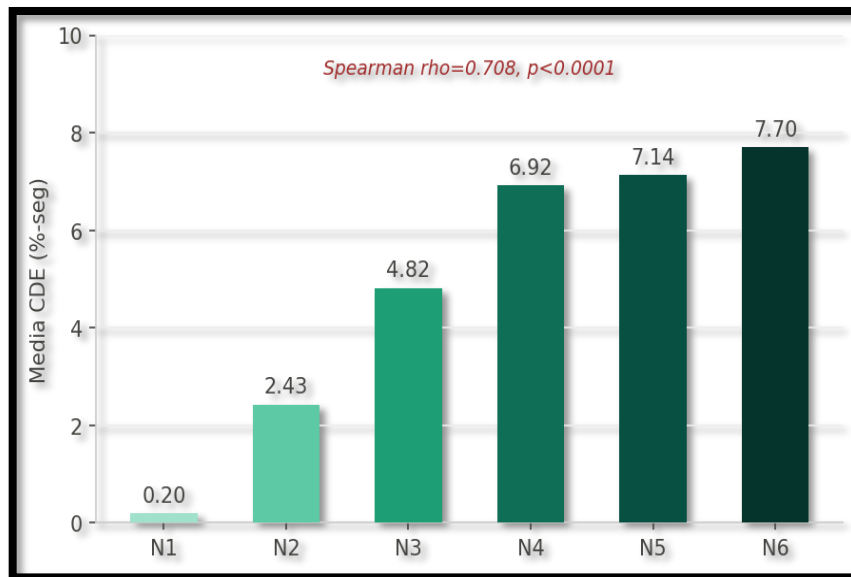
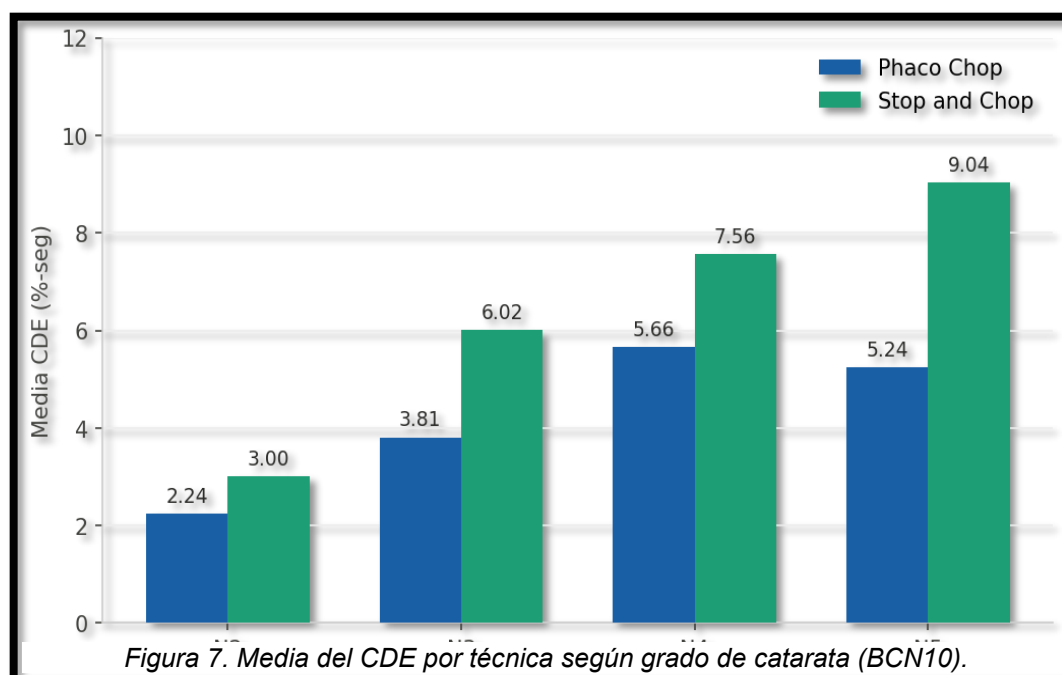


Figura 6. Media del CDE según grado de catarata (BCN10).

Se observó una tendencia ascendente clara en el CDE conforme aumentó el grado de densidad nuclear. Los ojos con catarata N1 presentaron el CDE más bajo (media: 0.20 ± 0.28 %-seg), mientras que los de grado N6 registraron el valor más alto (media: 7.70 ± 2.53 %-seg).

%-seg). El análisis de correlación de Spearman confirmó una correlación positiva fuerte y estadísticamente significativa entre el grado de catarata y el CDE ($\rho=0.708$, $p<0.0001$).



Al analizar el CDE según la técnica y el grado de catarata de forma conjunta, se observó que la técnica Phaco Chop generó consistentemente menor CDE que el Stop and Chop en todos los grados nucleares donde ambas técnicas estuvieron representadas.

La diferencia entre técnicas fue más pronunciada en cataratas de grado N5 (diferencia de 3.80 %-seg), seguida del grado N3 (2.21 %-seg) y N4 (1.90 %-seg). En cataratas N2, la diferencia fue mínima (0.76 %-seg), lo que sugiere que en núcleos blandos ambas técnicas tienen un rendimiento energético similar. El grado N1 fue operado exclusivamente con Phaco Chop y el grado N6 exclusivamente con Stop and Chop.

5. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

El hallazgo principal de este estudio fue que la técnica Phaco Chop generó una CDE significativamente menor que la técnica Stop and Chop (3.04 ± 1.97 vs 6.00 ± 3.57 %-seg; $U=327.50$, $p=0.0001$), representando una diferencia relativa de aproximadamente el 97%. Estos hallazgos son consistentes con los reportados por Fernández-Muñoz et al. (2023), donde la técnica Faco-Chop mostró un CDE medio de 20.11 ± 11.06 %-seg, significativamente menor que las técnicas de divide y vencerás.

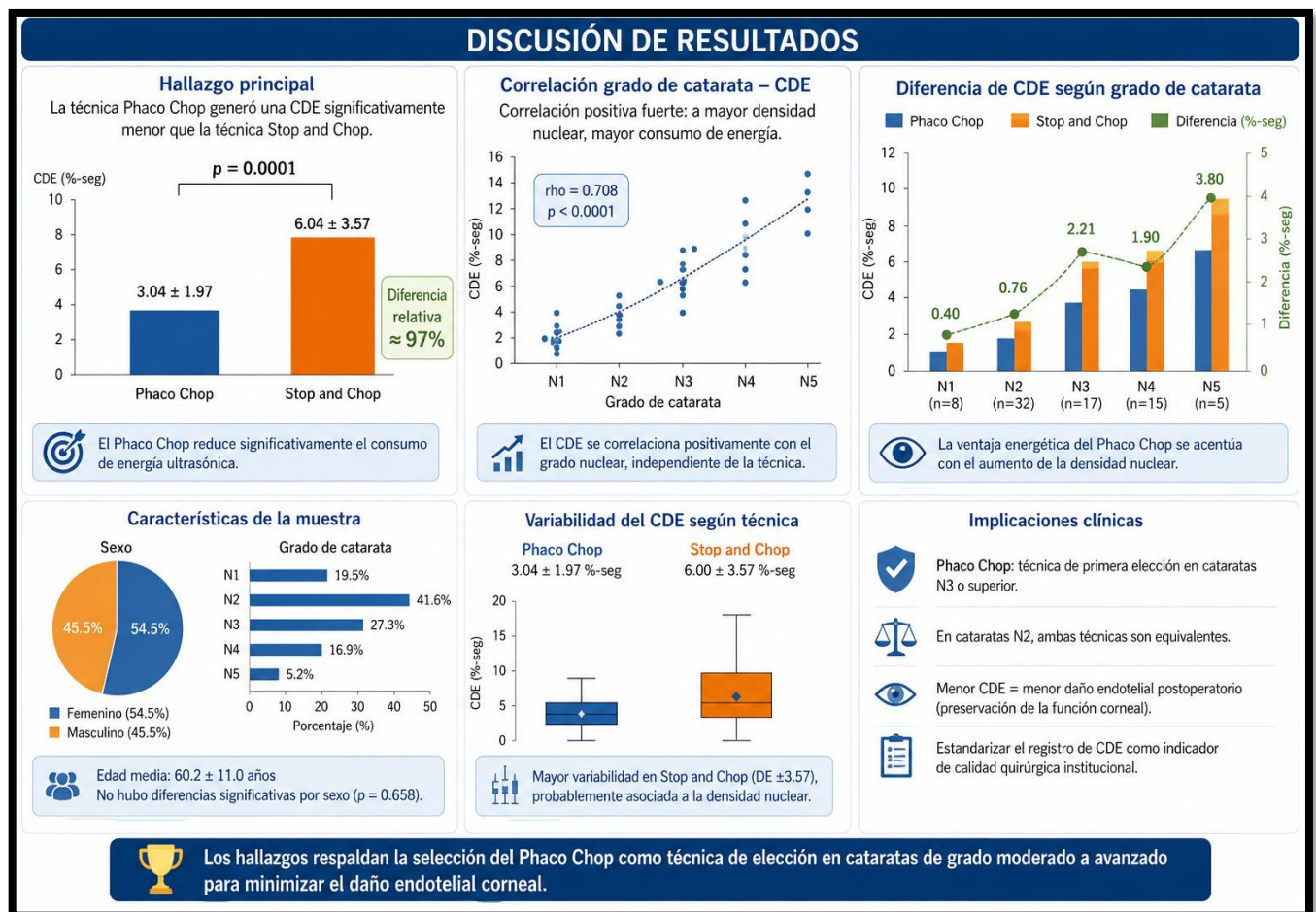


Figura 8. Resumen de discusión de resultados

Los valores absolutos superiores de ese estudio se explican por el uso exclusivo de cataratas densas en su muestra, frente al predominio de cataratas blandas (75.3%) en la presente investigación. De igual manera, Shajari et al. (2021) reportaron que el Phaco Chop generó un CDE de 8.3 %-seg frente a 14.7 %-seg para divide y vencerás ($p < 0.001$), confirmando la superioridad energética del chopping mecánico.

Sinha et al. (2023) también encontraron que el CDE fue más bajo en las técnicas de mayor componente mecánico, posicionando al Stop and Chop como técnica de consumo energético intermedio.

El análisis de Spearman demostró una correlación positiva fuerte y significativa entre el grado de catarata y el CDE ($\rho=0.708$, $p<0.0001$), confirmando que, a mayor densidad nuclear, mayor fue el consumo de energía ultrasónica, independientemente de la técnica empleada. Este hallazgo es consistente con los principios físicos de la facoemulsificación y con lo reportado por Palacios et al. (2023), quienes confirmaron que el CDE se correlaciona positivamente con el grado nuclear y con la pérdida endotelial postoperatoria ($r=0.67$, $p<0.001$).

Matsuura y Takanashi (2022) evidenciaron además que el rendimiento del Stop and Chop varía significativamente según la densidad nuclear, lo que podría explicar la mayor variabilidad observada en ese grupo (DE: ± 3.57) frente al Phaco Chop (DE: ± 1.97).

El análisis cruzado reveló que la ventaja energética del Phaco Chop se acentúa con el aumento de la densidad nuclear: en cataratas N2 la diferencia fue mínima (0.76 %-seg), mientras que en N3, N4 y N5 ascendió a 2.21, 1.90 y 3.80 %-seg respectivamente. Este patrón es congruente con lo reportado por Sinha et al. (2023) y Shajari et al. (2021), quienes encontraron que las mayores diferencias entre técnicas ocurren en cataratas de densidad moderada a avanzada. En cataratas blandas, ambas técnicas son energéticamente equivalentes.

La muestra estuvo compuesta predominantemente por cataratas de núcleo blando (N1–N3: 75.3%), con edad media de 60.2 ± 11.0 años y leve predominio femenino (54.5%). La comparación por sexo no mostró diferencias significativas ($p=0.658$), confirmando la comparabilidad de los grupos. Sin embargo, el grupo Stop and Chop concentró mayor proporción de cataratas N4 o superior (40.6%) en comparación con el Phaco Chop (13.3%), introduciendo un sesgo de selección inherente al diseño retrospectivo. No obstante, la diferencia de CDE fue significativa al controlar por grado en el análisis cruzado, respaldando que la ventaja energética del Phaco Chop es real e independiente de la distribución de densidades nucleares.

Los resultados tienen implicaciones directas para la práctica quirúrgica en el Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN). El Phaco Chop debe considerarse técnica de primera elección en cataratas de grado N3 o superior, donde su ventaja energética es clínicamente relevante.

En cataratas N2, ambas técnicas son equivalentes. Palacios et al. (2023) demostraron que el CDE es el marcador más robusto para predecir el daño endotelial postoperatorio, lo que hace de su reducción una estrategia preventiva de primer orden para preservar la función corneal a largo plazo. Los hallazgos apoyan la incorporación del Phaco Chop como técnica estándar en cataratas de mediana y alta densidad, y la estandarización del registro de CDE como indicador de calidad quirúrgica institucional, en consonancia con las recomendaciones de González-Salinas y Garza-León (2021).

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- A. La muestra estuvo conformada por 77 ojos de 40 pacientes, con predominio del sexo femenino (55.00%) y edad media de 60.2 ± 11.0 años.
- B. El grado de catarata predominante fue N2 (41.6%), con el 75.3% de los ojos clasificados como cataratas de núcleo blando (N1–N3). No se registraron cataratas de núcleo duro ni brunescence.
- C. El CDE promedio fue de 3.04 ± 1.97 %-seg para Phaco Chop y de 6.00 ± 3.57 %-seg para Stop and Chop.
- D. Se confirmó correlación positiva fuerte y significativa entre el grado de catarata y el CDE ($\rho=0.708$, $p<0.0001$).
- E. La prueba U de Mann-Whitney evidenció diferencia estadísticamente significativa entre ambas técnicas ($U=327.50$, $p=0.0001$), siendo el Phaco Chop la técnica con menor CDE, con una ventaja que se acentúa progresivamente con el aumento de la densidad nuclear.

7. RECOMENDACIONES

7.1. Recomendaciones

- A. Motivar a incluir en el proceso de entrenamiento de los residentes en formación la técnica Phaco Chop, una vez hayan adquirido dominio de técnicas, como Stop and Chop.
- B. Documentar de manera rutinaria el valor de CDE en todos los procedimientos de facoemulsificación como marcador de eficiencia quirúrgica.
- C. Valorar la utilización de la técnica Phaco Chop en pacientes con cataratas moderadas y densas, ya que esta genera menor grado de consumo de energía ultrasónica, lo que proporciona el potencial beneficio de la preservación del endotelio corneal.
- D. Realizar investigaciones donde se incorporen más variables postoperatorias como la densidad celular endotelial, la paquimetría corneal y la agudeza visual corregida para evaluar con mayor precisión el impacto clínico del consumo energético.
- E. Realizar investigaciones prospectivas con muestras de mayor tamaño y donde se tomen la muestra de un solo ojo operado por paciente, ya que utilizar dos ojos del mismo paciente no son observaciones totalmente independientes.
- F. Comparar otras técnicas de facoemulsificación y nuevas tecnologías, como prechoppers o asistencia con láser de femtosegundo, para valorar otras alternativas para disminuir aún más el consumo de energía ultrasónica.
- G. Utilizar los resultados de esta investigación como referencia para optimizar los protocolos quirúrgicos del servicio de oftalmología del Instituto Nacional de Diabetes, Endocrinología y Nutrición (INDEN).
- H. Incentivar el desarrollo de investigaciones similares en la población dominicana.

- I. Continuar incentivando el desarrollo de estrategias quirúrgicas orientadas a disminuir complicaciones intraoculares, mejorar la recuperación visual y aumentar la calidad de vida de los pacientes sometidos a cirugía de catarata.

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1. Bibliografía

- American Academy of Ophthalmology (AAO). (2023). Basic and Clinical Science Course: Optics, Refraction, and Contact Lenses. AAO.
- American Academy of Ophthalmology (AAO). (2024). Basic and Clinical Science Course: Lens and Cataract. AAO.
- Asociación Médica Mundial. (2013). Declaración de Helsinki de la AMM: Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. <https://www.wma.net/es/polices-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
- Barraquer, R. I., Pinilla Cortés, L., Allende, M. J., Montenegro, G. A., Ivankovic, B., D'Antin, J. C., Martínez Osorio, H., & Michael, R. (2017). Validation of the nuclear cataract grading system BCN 10. *Ophthalmic Research*, 57(4), 247–251. <https://doi.org/10.1159/000456720>
- Benjamin, L. (2018). Phacoemulsification surgery (4th ed.). Elsevier.
- Bourne, W. M. (2003). Biology of the corneal endothelium in health and disease. *Eye*, 17(8), 912–918. <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6700559>
- Chen, D., Tang, Q., Yu, F., Cai, X., & Lu, F. (2019). Comparison of cumulative dissipated energy among different phacoemulsification techniques. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 45(8), 1097–1104.
- Chylack, L. T. Jr., Wolfe, J. K., Singer, D. M., Leske, M. C., Bullimore, M. A., Bailey, I. L., & Wu, S. Y. (1993). The Lens Opacities Classification System III. *Archives of Ophthalmology*, 111(6), 831–836.
- Davis, G., & Geetha, R. (2016). The evolution of cataract surgery. *Missouri Medicine*, 113(1), 58–62.
- Fernández-Muñoz, E., Chávez-Romero, Y., Rivero-Gómez, R., Aridjis, R., & González-Salinas, R. (2023). Cumulative dissipated energy in phacoemulsification: Comparison between divide-and-conquer, Ultrachopper, and phaco-chop techniques for dense cataracts. *Clinical Ophthalmology*, 17, 2405–2412. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S407705>

- González-Salinas, R., & Garza-León, M. (2017). Energía disipada acumulada como predictor de daño endotelial en cirugía de catarata. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 91(4), 178–184.
- González-Salinas, R., & Garza-León, M. (2021). Impacto de la energía disipada acumulada sobre el endotelio corneal en cirugía de catarata: estudio retrospectivo. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 95(2), 67–74.
- Gurnani, B., Kaur, K., & Christy, J. (2022). Learning curve analysis in phacoemulsification surgery: A systematic review. *Indian Journal of Ophthalmology*, 70(4), 1149–1157.
- Koch, P. S. (1994). Stop and chop phacoemulsification. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 20(5), 566–570.
- Lamoureux, E. L., & Pesudovs, K. (2011). Vision-specific quality-of-life research: a need to improve the quality of evidence. *American Journal of Ophthalmology*, 151(2), 195–197.
- Lorente, R., & Medcute, J. (2008). *Manual de cirugía del cristalino*. Sociedad Española de Oftalmología.
- Matsuura, K., & Takanashi, N. (2022). Stop-and-press technique: A stop-and-chop technique without occlusion for patients with cataracts with soft-to-moderate nuclei. *Clinical Ophthalmology*, 16, 3283–3287. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S379325>
- Moore, R. L., & De Rojas Silva, V. (2012). Phaco chop and related techniques for nuclear disassembly in phacoemulsification. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 38(1), 178–188.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). Ceguera y discapacidad visual. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Palacios, A., Muñoz, M., & Villanueva, M. (2023). Cumulative dissipated energy as a marker of surgical efficiency in phacoemulsification: systematic review. *European Journal of Ophthalmology*, 33(2), 445–453.
- Pérez, J. M., Ibáñez, B. B., & Valero, S. O. (2016). Cumulative dissipated energy and endothelial cell loss in phacoemulsification. *European Journal of Ophthalmology*, 26(5), 422–427.

- Remington, L. A. (2012). *Clinical anatomy and physiology of the visual system* (3rd ed.). Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Ruit, S., Tabin, G., Chang, D., Bajracharya, L., Kline, D. C., Richheimer, W., Shrestha, M., & Paudyal, G. (2019). A prospective randomized clinical trial of phacoemulsification vs manual sutureless small-incision extracapsular cataract surgery in Nepal. *American Journal of Ophthalmology*, 147(1), 10–15.
- Shajari, M., Rusev, V., Mayer, W. J., Kohnen, T., & Priglinger, S. (2019). Comparison of cumulative dissipated energy between two phacoemulsification systems. *Journal of Refractive Surgery*, 35(9), 588–593.
- Shajari, M., Rusev, V., Mayer, W. J., Kohnen, T., & Priglinger, S. (2021). Cumulative dissipated energy comparison between phaco chop and divide-and-conquer phacoemulsification techniques. *Journal of Refractive Surgery*, 37(4), 261–267.
- Sinha, A., Morya, A. K., Gupta, V., & Prasad, R. (2023). A randomized controlled trial to assess safety and efficacy between terminal chop, stop-and-chop, and direct chop. *Indian Journal of Ophthalmology*, 71(12), 3658–3662.
- Upasani, D., & Daigavane, S. (2024). Phacoemulsification techniques and their effects on corneal endothelial cells and visual acuity: A review of direct-chop and stop-and-chop approaches under topical anesthesia. *Cureus*, 16(8), e66587. <https://doi.org/10.7759/cureus.66587>
- Walkow, T., Anders, N., & Klebe, S. (2000). Endothelial cell loss after phacoemulsification: relation to preoperative and intraoperative parameters. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 26(5), 727–732.

9. APÉNDICE

9.1. Listado de Apéndice

A continuación, se listan los apéndices incluidos:

1. Cronograma
2. Presupuesto
3. Instrumento de recolección de datos

1. Cronograma:

Variables	Noviembre 2025	Diciembre 2025	Enero 2026	Febrero 2026	Marzo 2026	Mayo 2026	Junio 2026
Selección del tema							
Búsqueda de referencias							
Elaboración del anteproyecto							
Sometimiento y aprobación							
Revisión de expedientes clínicos							
Tabulación y análisis de la información							
Redacción y revisión del informe							
Encuadernación							
Presentación							

2. Presupuesto

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Material gastable	--	---	1,000
Copias anteproyecto	2	250.00	500.00
Ejemplares de tesis	3	1,000.00	3,000.00
Elaboración de base de datos	1	6,000.00	6,000.00
Gasto de transporte	---	---	3,500.00
Total General			14,000.00

3. Instrumento de recolección de datos.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Comparación del CDE en técnicas Phaco Chop y Stop and Chop Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN) — Junio-Diciembre 2025			
Código del expediente:			
Sección 1: Variables demográficas			
Sexo:	☐ Masculino ☐ Femenino	Edad (años cumplidos):	
Grupo etario:		☐ 40-49 ☐ 50-59 ☐ 60-69 ☐ 70-79 ☐ ≥ 80	
Sección 2: Variables clínicas preoperatorias			
Ojo operado:	☐ Ojo derecho (OD) ☐ Ojo izquierdo (OI)	Grado de catarata (BCN10):	
Clasificación BCN10:		☐ N1 ☐ N2 ☐ N3 ☐ N4 ☐ N5 ☐ N6 ☐ N7 ☐ N8 ☐ N9 ☐ N10	
Sección 3: Variables intraoperatorias			
Técnica de facoemulsificación:		☐ Phaco Chop ☐ Stop and Chop	
CDE registrado por el equipo (%-seg):			
Fecha de cirugía:			

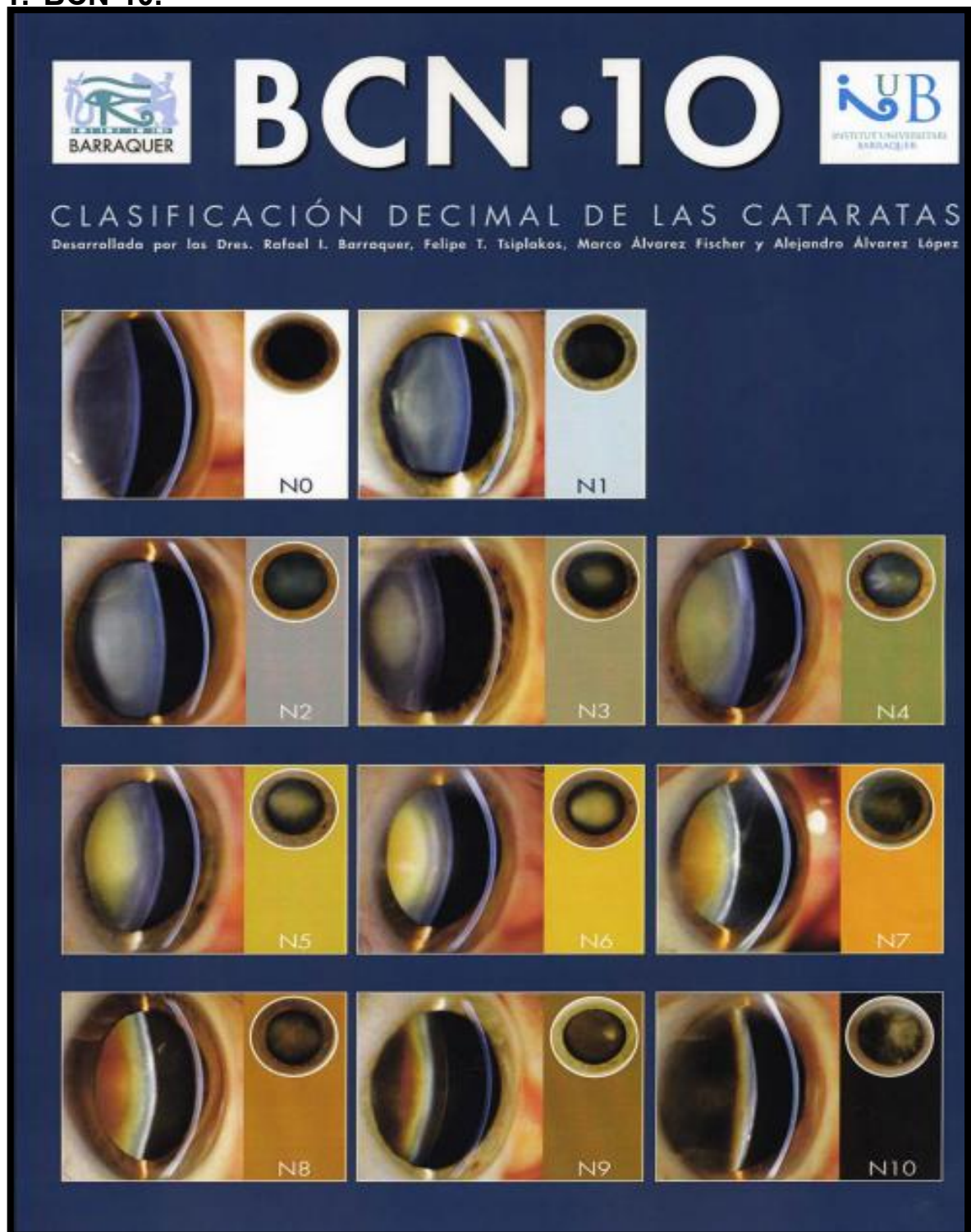
10. ANEXOS

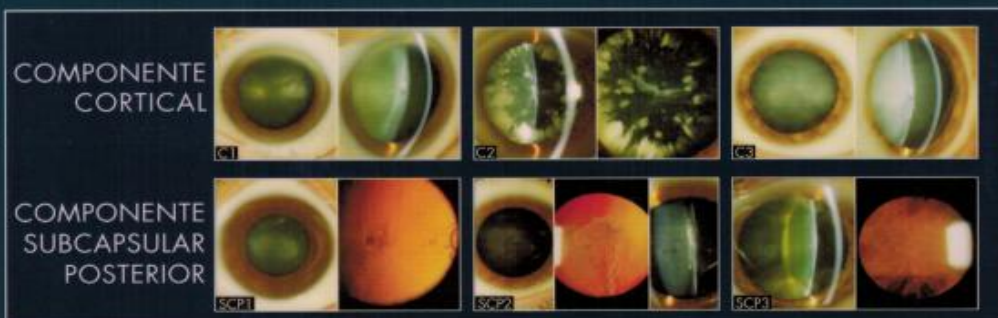
10.1. Listado de anexos

A continuación, se listan los anexos incluidos:

1. BCN-10.
2. Mapa institucional (Mapa cartográfico y Vista aérea).
3. Carta solicitud de recolección de datos
4. Certificación en ética de investigación
5. Aprobación del proyecto de investigación

1. BCN-10.





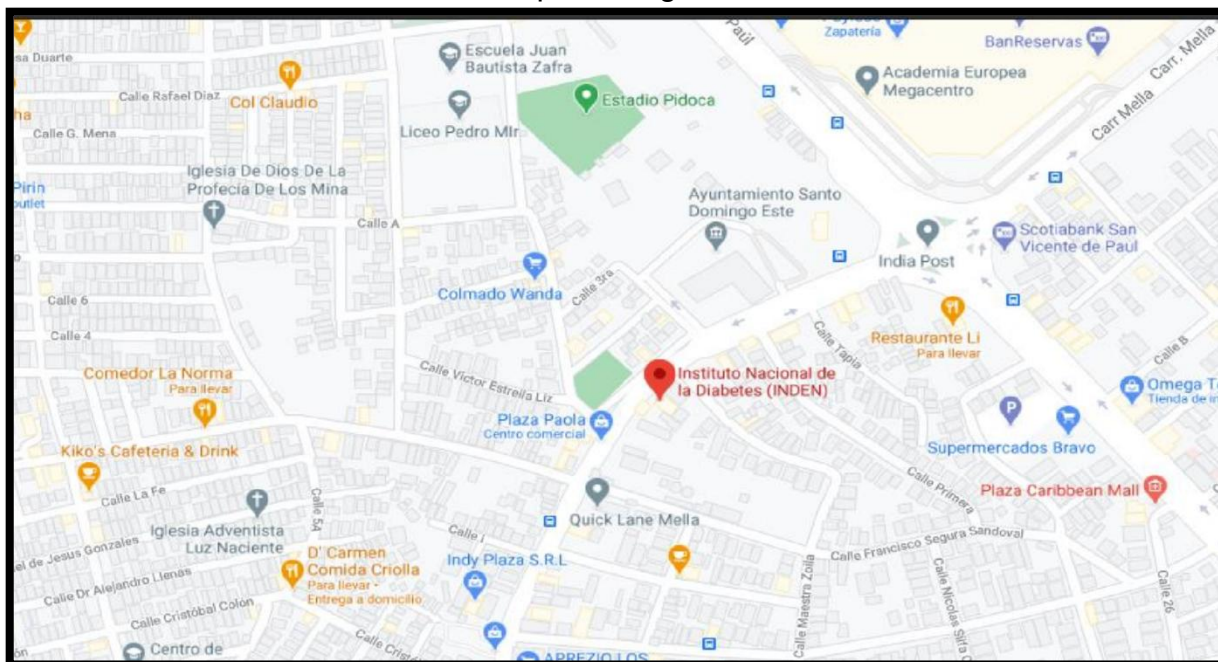
- Para evaluar y transmitir de forma reproducible información sobre el grado de las cataratas, es preciso disponer de una referencia unificada o clasificación. Las posibles aplicaciones abarcan desde los estudios epidemiológicos hasta la evaluación de fármacos anti-catarata. Sin embargo, el primer objetivo de BCN-10 es clínico-quirúrgico: **ser capaz de predecir el grado de dificultad operatoria y por tanto ayudar a escoger la mejor técnica o táctica.**
- Por su simplicidad, las clasificaciones usuales en (+, ++, +++) resultan poco específicas. Sistemas de demostrada reproducibilidad como el LOCS III no incluyen los grados más avanzados de catarata (> N6), precisamente donde mayor es la dificultad quirúrgica y, por tanto, la necesidad de discernir con precisión los estadios. BCN-10 emplea una escala decimal por su familiaridad y frecuente uso en muchos campos.
- La descripción clínica de las cataratas puede basarse en tres componentes o parámetros: nuclear (N), cortical (C) y subcapsular posterior (SCP). La mayor importancia práctica recae sobre el primero por su relación directa con la dificultad operatoria. La escala decimal tiene amplitud suficiente para acomodar todas las situaciones, desde los núcleos aspirables sin necesidad de energía ultrasónica (U/S) hasta los de dureza extrema.
- La clasificación de la componente N se basa en una combinación de la densidad óptica y el color nucleares, tal como se aprecian con la lámpara de hendidura en midriasis. Los grados se han escogido en intervalos equidistantes desde la transparencia hasta la catarata negra. Cada uno corresponde a cierto tono o color nuclear aproximado:

	N1 = azulado		N6 = amarillo anaranjado
	N2 = azul grisáceo		N7 = anaranjado
	N3 = gris verdoso		N8 = rojizo anaranjado
	N4 = verde amarillento		N9 = marrón rojizo
	N5 = amarillo verdoso		N10 = castaño oscuro (negro)
- Los componentes C y SCP tienen interés descriptivo pero menor incidencia en la práctica quirúrgica. Por ello basta la simple escala de 0+ a 3+, es decir, "ausente, leve, moderada, severa". El grado C 3+ implica un córtex opaco en toda su extensión, es decir, una catarata madura. SCP 3+ corresponde a opacidad densa y difusa en toda el área subcapsular.
- La descripción de una catarata mediante BCN-10 combina los valores de los tres componentes, por ejemplo: "N5, C2+, SCP1+". Aunque el tamaño del núcleo tiende a aumentar con el grado, un mismo valor N puede darse con diferentes diámetros nucleares y grados C o SCP. Cada componente debe evaluarse por separado, evitando las posibles influencias por opacidades vecinas.
- El principal inconveniente de una clasificación decimal estriba en la mayor dificultad para memorizarla. Al evaluar una catarata, **tenga siempre a la vista las imágenes de referencia BCN-10.**
- Hemos apreciado cierta correlación entre grado N y nuestras técnicas habituales. N0 corresponde al cristalino infantil totalmente transparente. N1 es el núcleo normal del adulto hacia la 4ª-5ª década, aspirable sin U/S, mientras N2 ya requiere cierto grado de energía pero sin necesidad de división nuclear. A partir de aquí, hacemos división en 2 hemisferios que pueden abordarse enteros (N3) o, progresivamente, requieren subdivisión en 4 (N4), 6 (N5), 8 (N6) o más sectores. A partir de N7 y sobre todo de N8, es útil el doble surco en cruz u otras técnicas de división previa, así como un número mayor de sectores.
- La capacidad de predicción de BCN-10 es orientativa. Para determinada densidad óptica/color nuclear, no siempre se encuentra la misma dureza durante la cirugía. La técnica a aplicar también dependerá de factores como la pupila, el tamaño del núcleo, el estado de la zónula, etc. Las posibles variantes son tantas como los cirujanos: esta escala decimal puede adaptarse a las preferencias de cada uno para establecer cierto grado a partir del cual se prefiera optar por una extracción vía incisión amplia.
- Toda clasificación requiere una definición clara y estable. BCN-10 se presenta, no obstante, con ánimo de permanecer abierta y capaz de adaptarse a futuros cambios. No duden en hacernos llegar sus sugerencias.

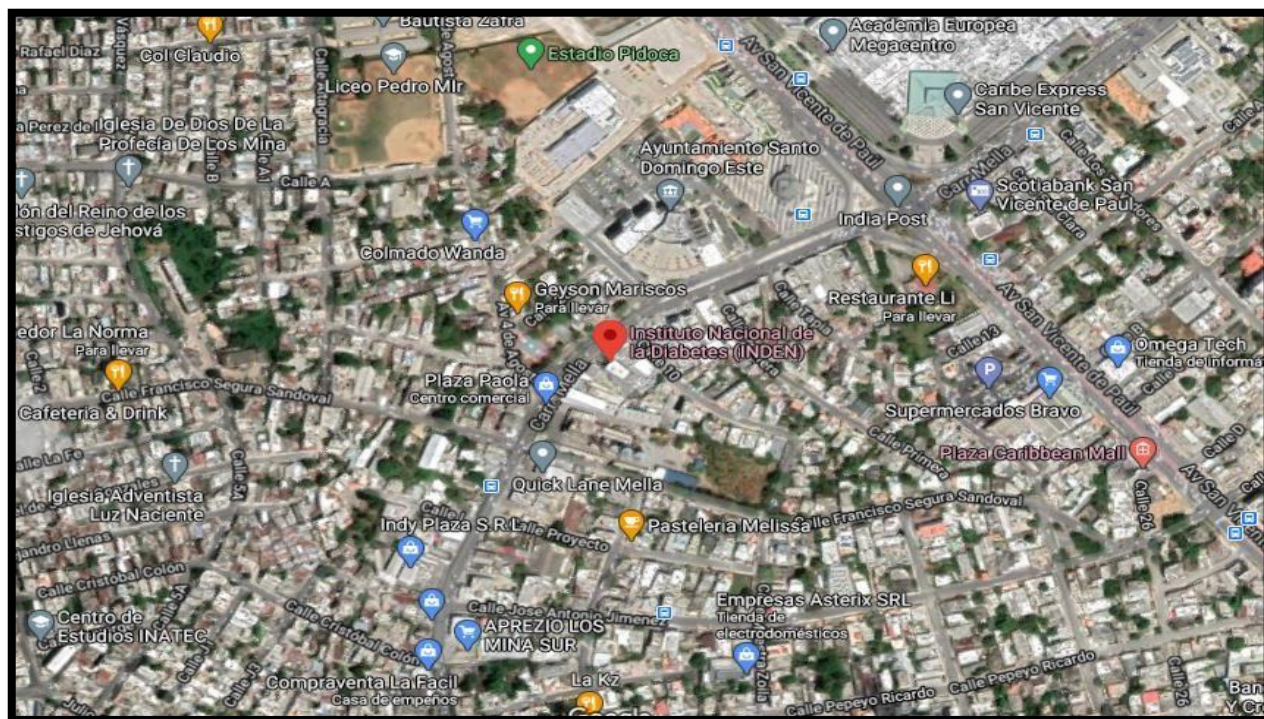
Alcon

2. Mapa institucional

Mapa Cartográfico



Vista aérea



3. Carta solicitud de recolección de datos



Por medio de la presente certifico que la estudiante Mariela Thomas Garcia, con la matrícula _____ es residente de oftalmología del Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahlés, (INDEN) y puede realizar su trabajo de grado con el título "Comparación del Nivel de Energía Ultrasónica Acumulada (CDE) entre las técnicas de Phaco Chop y Stop and Chop en la facoemulsificación de Cataratas, en las cirugías realizadas en el periodo junio -diciembre del año 2025" ; en el hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahlés (INDEN).

Como centro (hospitalario) institución, confirmamos que nuestro manejo de los expedientes / entrevistas / datos se adhiere a las normas éticas nacionales e internacionales en materia de protección de participantes humanos.

Nombre... Dr Ammar Ibrahim

Cargo Director General

Numero de contacto. 829-420.3000

Firma _____

Fecha 13/11/2025.



4. Certificación en ética de investigación



CERTIFICACIÓN EN ÉTICA DE INVESTIGACIÓN

Nombre Completo Mariela Thomas Garcia

Matrícula o código institucional 221177

Carrera/Posición: Postgrado en Medicina

Estado del examen Aprobado

Número de Certificación DIAIRB2025-0899

Fecha Monday, March 24, 2025

Michael A. Alcántara-Minaya, MD
Coordinador Comité de Ética
Vicerrectoría de Investigación e Innovación
Universidad Iberoamericana (UNIBE)



5. Aprobación del proyecto de investigación

Aplicación Completa para Estudiantes

Código de Aplicación	ACECEI2026-357
Nombre del Estudiante #1	Mariela Thomas García
Matrícula del Estudiante #1	221177

Nombre del Proyecto de Investigación

"Comparación del nivel de energía ultrasónica acumulada (CDE) entre las técnicas de Phaco Chop y Stop and Chop en la facoemulsificación de cataratas, en las cirugías realizadas en el departamento de oftalmología en el Hospital Escuela Dr. Jorge Abraham Hazoury Bahles (INDEN), en el período junio-diciembre del año 2025".

ESTADO DE LA APLICACIÓN

APROBADO

HOJA DE EVALUACIÓN

Sustentante

Dra. Mariela Thomas García

Asesores

Dr. Nelson Mañón
Clínico

Dr. Ángel S. Campusano
Metodológico

Jurado

Dr. Jorge Feliciano

Autoridades Administrativas

Dr. Marcos Núñez Cuerno
Decano Escuela de Medicina

Dr. Cosme Rafael Nazario
Director de Residencias Médicas

Dra. Yinnette Read
Jefe de Enseñanza

Dra. Rosa Fernández
Coordinadora Residencia Oftalmología

Calificación Final: _____

Fecha: _____