Bellavista, 18 de abril, 2022

Señor(a):

RESOLUCIÓN DECANAL Nº 059-2022-D-FCNM. - Bellavista, 18 de abril 2022.- EL DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

Visto el Oficio N°14-2022-UI-FCNM, con fecha Bellavista 30 de marzo del 2022, por medio del cual el Bachiller en Matemática ESPARTA RODRÍGUEZ, José Edmundo, solicita Aprobar Proyecto de Tesis para titulación profesional con el fin de titularse por la modalidad de tesis sin ciclo de tesis.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución del Consejo Universitario Nº 245-2018-CU de fecha 30 de octubre del año 2018, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado de la Universidad Nacional del Callao;

Que, en el Art. 73° del precitado Reglamento, establece los requisitos y procedimientos para solicitar aprobación del Proyecto de tesis, sin Ciclo de Tesis, designación de Jurado Evaluador y del Profesor Asesor;

Que, mediante los Artículos 24º, 25° y 26° del Capítulo I JURADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, TÍTULO PROFESIONAL, TÍTULO DE SEGUNDA PROFESIÓN O TÍTULO DE SEGUNDA ESPECIALIDAD PROFESIONAL del acotado Reglamento, establecen que el Jurado Evaluador es propuesto por el Comité Directivo de la Unidad de Investigación de la Facultad, los docentes miembros deben ser nombrados o contratados a TC o DE y debe estar integrado por tres (03) docentes titulares y un (01) docente suplente; el presidente, es el docente ordinario de mayor categoría y antigüedad entre los miembros propuestos; el secretario y vocal son designados en orden de prelación decreciente; el profesor asesor elegido por el bachiller en este caso es el profesor **. Dr. DIONICIO ORLANDO MORENO VEGA**;

Que, estando vigente el Estado de Emergencia Nacional y de Aislamiento Social Obligatorio establecido en el marco del Decreto de Urgencia N° 026-2020 por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19. Se ha emitido la Resolución de Consejo Universitario N° 068-2020-CU, de fecha 25 de marzo de 2020, mediante la cual se resuelve "autorizar con eficacia anticipada, del 16 de marzo de 2020, y hasta que concluya el estado de emergencia nacional, la modificación del lugar de la prestación de servicios docentes y administrativos;

Que, en efecto, corrido el trámite de la solicitud del recurrente, el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, mediante Oficio Nº 14-2022-UI-FCNM recibido en forma virtual el 30 de marzo 2022, comunica que el Proyecto de Investigación del graduando ha sido evaluado por el Comité Directivo de la Unidad de Investigación, consecuentemente se encuentra óptimo en cuanto a los requisitos señalados por las directivas vigentes proponiendo, al mismo tiempo, el Jurado Evaluador del Proyecto de Investigación titulado: **"EXISTENCIA Y UNICIDAD DE LA SOLUCIÓN DÉBIL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER"**

Estando al documento del visto y lo glosado, con cargo a dar cuenta al Consejo de Facultad; y, en uso de las atribuciones le confiere el Artículo 187° y 189° del Estatuto de la Universidad Nacional del Callao y al numeral; 70.2 del Art. 70° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220;

RESUELVE:

1º. **APROBAR,** el Proyecto de Tesis: **"EXISTENCIA Y UNICIDAD DE LA SOLUCIÓN DÉBIL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER"** presentado por el Bachiller ESPARTA RODRÍGUEZ, José Edmundo, de la Escuela Profesional de Matemática.

2° **DESIGNAR,** Jurado Evaluador de Tesis para obtener el título profesional de Licenciado en Matemática, por la modalidad de tesis sin ciclo de tesis, titulado: **"EXISTENCIA Y UNICIDAD DE LA SOLUCIÓN DÉBIL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER"** presentado por el Bachiller ESPARTA RODRÍGUEZ, José Edmundo, Jurado que está integrado por los siguientes profesores:

Mg. Vidal Guzmán, Roel Mario	: Presidente
Lic. Ávila Célis, César Augusto	: Vocal
Lic. Duran Quiñones, Sofía	: Secretario
Lic. Bernui Barros, Juan Benito	: Suplente

2º. **RECOMENDAR**, que dicho Jurado debe remitir su dictamen colegiado al Decano de la Facultad, dentro del plazo máximo de quince (15) días calendarios, contados a partir de la fecha de recepción del expediente y de la presente Resolución, de acuerdo con las normas reglamentarias vigentes sobre la materia.

3º. **TRANSCRIBIR**, la presente Resolución al Jurado Evaluador, profesor asesor, Escuela Profesional y Departamento Académico de Matemática, Unidad de Investigación e interesado, para conocimiento y fines.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE

Fdo. **Dr. JUAN ABRAHAM MÉNDEZ VELÁSQUEZ**. -Decano y Presidente del Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao.

Fdo. **Mg. GUSTAVO ALBERTO ALTAMIZA CHÁVEZ**.-Secretario Académico
Lo que transcribo a usted para los fines pertinentes.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

Dr. Juan Abraham Méndez Velásquez
Decano

PROVEÍDO N°180-2022-D-FCNM

Ref. : **Oficio N°14-2022-UI-FCNM**
Designación de Jurado de Proyecto de Tesis
Bach. Esparta Rodríguez José Edmundo
Escuela Profesional de Matemática
Expediente: N°680.10.2021 (10 folios)

PASE, el documento de la referencia, a la **Oficina de Secretaria Académica de la FCNM**, para su conocimiento y expedición de la resolución correspondiente.

Bellavista, 02 de abril de 2022

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

Dr. Juan Abraham Méndez Velásquez
Decano

JAMV/hc
Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

Bellavista, marzo 30, 2022

OFICIO Nº 14-2022-UI-FCNM

Señor Doctor
JUAN A. MÉNDEZ VELÁSQUEZ
Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
Presente. -

Asunto: *Aprobar el Proyecto de Tesis, Bach*. **Esparta Rodríguez José Edmundo**
Escuela Profesional de Matemática.

Referencia: **PROVEÍDO N°103-2022-D-FCNM**
Bach. **Esparta Rodríguez, José Edmundo**
Escuela Profesional de Matemática
Expediente: N°680.10.2021 (08 folios)

De mi consideración:

Tengo a bien saludarlo por medio del presente y a la vez informarle que, el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, después de revisar el Proyecto de Tesis (Pre Grado) del Bachiller **Esparta Rodríguez, José Edmundo** *resuelve lo siguiente:*

1. **Aprobar,** el Proyecto de Tesis: **"EXISTENCIA Y UNICIDAD DE LA SOLUCIÓN DÉBIL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER"** presentado por el Bachiller **Esparta Rodríguez, José Edmundo** de la Escuela Profesional de Matemática. Inscribir en el Libro de Registro de Tesis de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, una vez emitida la Resolución Decanal de aprobación correspondiente.
2. El Bachiller José Edmundo Esparta Rodríguez, tiene un plazo máximo de un año para presentar su tesis a la *Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática.*
3. Designar el Jurado Evaluador de tesis para titulación profesional, integrado por:
   - Mg. Vidal Guzmán, Roel Mario : Presidente
   - Lic. Ávila Célis, Cesar Augusto : Vocal
   - Lic. Duran Quiñones, Sofia : Secretario
   - Lic. Bernui Barros, Juan Benito : Suplente
4. Adjunto documentación para su atención en archivo virtual, y asimismo para el trámite consiguiente.

Agradeciendo su deferencia al presente, quedo de usted.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

Dr. WHUALKUER LOZANO BARTRA
Director

c.c.: Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
DECANATO

PROVEÍDO N°103-2022-D-FCNM

Ref. : Solicitud de aprobación de Proyecto de Investigación
Bach. ESPARTA RODRÍGUEZ, JOSÉ EDMUNDO
Levantamiento de observaciones - EPM
Expediente Nº 680.10.2021 (08 Folios)

PASE, el documento de la referencia, en archivo virtual a la **Unidad de Investigación de la FCNM** para su atención, debiendo devolverse, sin mutilaciones, para el trámite consiguiente.

Bellavista, 08 de marzo de 2022

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

Dr. Juan Abraham Méndez Velásquez
Decano

JAMV/hc
Archivo

Av. Juan Pablo II Nº 306 Ciudad Universitaria Bellavista – Callao Correo Electrónico: fcnm.mesa@unac.edu.pe

FORMATO DE TRÁMITE ACADÉMICO - ADMINISTRATIVO

FOLIO 8

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
"FORMAR AL HOMBRE CIENTÍFICA. TÉCNICA Y CULTURALMENTE PARA UN MUNDO MEJOR"

DIRIGIDO A: Dr. Juan Mendez Velasquez
Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática

DATOS DELRECURRENTE (LETRA IMPRENTA)

NOMBRES: José Edmundo D.N.I: 15441600

APELLIDOS: Esparta Rodriguez CODIGO: 953018-I

FACULTAD: Ciencias Naturales y Matemática ESCUELA: Matemática

DOMICILIO: Av. Javier Prado 7107 La Molina. CORREO: jeespartar@unac.edu.pe

TELEFONO: 969741500 CELULAR: 969741500

RELACIÓN CON LA UNAC: DOCENTE ☐ ALUMNO ☒ EGRESADOS ☐ OTROS ☐

1. Constancia de Egresado.
2. Diploma Grado de Bachiller.
3. Aprobación Proyecto Tesis
4. Designación de Jurado de Tesis
5. Expedito para Sustentación y fecha de Sustentación de Tesis
6. Diploma de Titulo Profesional
7. Inscripción Ciclo Actualización Profesional (CAP)
8. Examen Final CAP
9. Diploma Título Profesional por Tesis
10. Aprobar y Sustentación Informe de Experiencia Laboral
11. Diploma Titulo Profesional Informe
12.- Acta Adicional
13.- Certificado de Estudios
14.- Retiro Total de Matricula
15.- Retiro Parcial de Matrícula
16.- Fraccionamiento de Matricula
17.- Constancia de Matricula
18.- Duplicado de Syllabus
19.- Reconsideración de Convalidación
20.- Levantamiento de Observaciones
21.- Devolución de documentos
22.- Devolución de Dinero
23.- Subsanación
24.- Revisión Examen Asignatura
25.- Transcripción Resolución
26.- Cambio de Asesor
27.- Completar Expediente
28.- Autorización Titulo Profesional de otra Universidad
29.- Diploma de Grado Académico Maestro y Doctor
30.- Otros

Trámite a realizar:

ESCRIBE EL N° DEL TRÁMITE A REALIZAR 3,4

DETALLE DE LA SOLICITUD:

Solicito aprobación del proyecto de tesis, designación de Jurado Revisor y del docente asesor.
Según el proveído No. 422-2021-D-FCNM, solicitando que levanté las observaciones del proyecto de tesis.
Hecho ello, devuelvo a usted el proyecto con las observaciones levantadas.

DECLARACIÓN JURADA SIMPLE

Yo, Esparta Rodriguez, José Edmundo con DNI N° 15441600
declaro que los datos y documentos adjuntos son legalmente válidos y corresponden al tenor de la solicitud.

Bellavista, 08 de Marzo , 20 22

FIRMA

ADJUNTO:
01. (1) Proyecto para levantar observaciones
02. (1) Proyecto levantado las observaciones
03. (1) Proveido No. 422-2021-D-FCNM

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
DECANATO

PROVEÍDO Nº 422-2021-D-FCNM

Ref.: Oficio N° 086-2021-UI-FCNM – Proyecto de Investigación observado
Proyecto de Investigación (17 folios)
Bach. Esparta Rodríguez José Edmundo
Expediente Nº 680.10.2021 (06 FOLIOS)
==

Devuélvase al interesado, a fin que se sirva subsanar las observaciones hechas por el Comité Directivo de la Unidad de Investigación de la FCNM, **hecho** devolver el presente expediente con toda la documentación, incluyendo el ejemplar observado, mediante documento de trámite administrativo .

B.30.11.21

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

Dr. Juan Abraham Méndez Velásquez
Decano

sr/

c.c.: Archivo

Av. Juan Pablo II Nº 306 Ciudad Universitaria Bellavista - Callao
Correo Electrónico: fcnm.mesa@unac.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
UNIDAD DE INVESTIGACION

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Bellavista, Noviembre 26, 2021

FOLIO: 06

Señor Doctor
JUAN ABRAHAM MÉNDEZ VELÁSQUEZ
Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
Presente.-

OFICIO Nº 86-2021-UI-FCNM

Referencia: Proveído N° 336-2021-D-FCNM
Jurado de Proyecto de Tesis
Bach. Esparta Rodríguez José Edmundo
Expediente N° 680.10.2021

De mi consideración:

Tengo a bien saludarlo por medio del presente y a la vez informarle que, el Comité Directivo de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, en su Sesión Ordinaria de fecha 25 de Noviembre 2021, después de revisar el Proyecto de Tesis (Pre Grado) del ***Bach. Esparta Rodríguez José Edmundo,*** *tomó el siguiente acuerdo:*

Acuerdo N° 02

Devuélvase el Proyecto de Tesis titulado **"EXISTENCIA Y UNICIDAD DE LA SOLUCIÓN DÉBIL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER"**, presentado por el **Bach. ESPARTA RODRÍGUEZ JOSÉ EDMUNDO** - Escuela Profesional de Matemática, a fin que se sirva levantar las siguientes observaciones, según Directiva N° 013-2018-R:

1° Se debe ampliar y referenciar la descripción de la realidad problemática.
2° Reformular el planteamiento del Problema General y Especifico; asimismo, en consecuencia reformular los objetivos de la investigación.
3° La justificación debe estar fundamentada en criterios académicos, económicos y sociales.
4° El Marco Conceptual debe incorporar los conceptos que usara en su investigación y debe referenciarlos.
5° La definición de términos básicos debe estar referenciada.
6° Reformular la hipótesis especifica.
7° En el método de investigación debe ampliar sobre los Métodos de Faedo-Galerkin y Gronwall.
8° En las técnicas e instrumentos de recolección de datos debe mencionar las técnicas que usara en conjunto con los métodos que indico para obtener datos que servirán para demostrar su hipótesis y alcanzar sus objetivos.
9° El cronograma de actividades debe detallar las actividades que realizara de modo más explicito.
10° La bibliografía debe guardar el mismo espaciamiento que todo el proyecto.
11° Rehacer la matriz de consistencia con los cambios realizados.
12° En la limitante teórica debe precisar dónde o cuál sería el espacio donde garantiza la existencia y unicidad.

En tal sentido, se devuelve a su Despacho, el Expediente N° *680.10.21* (05 folios, el último folio es el Prov. N° 336-2021-D-FCNM), así como el Proyecto de Tesis de 17 páginas, en archivo virtual, para el trámite consiguiente.

Sin otro particular, quedo de usted,

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Mg. JORGE LUIS GODIER AMBURGO
DIRECTOR (e)

/srh

c.c.: Archivo

FOLIO: 05

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANATO

PROVEÍDO Nº 336-2021-D-FCNM

Referencia Solicitud del Bachiller de la Escuela Profesional de Matemática **Sr. ESPARTA RODRIGUEZ, José Edmundo**, con código N° 953018-Ipor cuyo intermedio solicita aprobación de proyecto de investigación de Tesis con el fin de optar el Título Profesional de Licenciado en Matemática.

Expediente N° 680.10.2021 contiene 04 folios, incluido Boucher de pago + archivo virtual proyecto de tesis de 24 páginas.

/. Pase en forma virtual el expediente indicado en la referencia, a la **Unidad de Investigación de la FCNM**, para atención sobre lo solicitado por el recurrente, teniendo en cuenta el Flujograma respectivo de los Procedimientos de Grados y Títulos de Pre y Posgrado vigente, debiendo devolverse el presente expediente, **sin mutilaciones**, para el trámite consiguiente.

Bellavista, 16 de octubre 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICA
DECANATO

Mg. Roel Mario Vidal Guzmán
Decano

Documento virtualizado

Adjunto: 04 folios + archivo virtual formato PDF

RMVG/pgh

Exp. N° 680.10.2021

C..c: interesado
Archivo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FCNM – MESA DE PARTES
RECIBIDO
FECHA: 15.OCT 2021 HORA:
EXP: 680.10.2021

FORMATO DE TRÁMITE ACADÉMICO - ADMINISTRATIVO

FOLIO: 01

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
"FORMAR AL HOMBRE CIENTÍFICA, TÉCNICA Y CULTURALMENTE PARA UN MUNDO MEJOR"

DIRIGIDO A: Mg. Roel Mario Vidal Guzmán
Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática

DATOS DELRECURRENTE (LETRA IMPRENTA)

NOMBRES: José Edmundo D.N.I: 15441600

APELLIDOS: Esparta Rodriguez CODIGO: 953018-I

FACULTAD: Ciencias Naturales y Matemática ESCUELA: Matemática

DOMICILIO: Av. Javier Prado 7107 La Molina CORREO: jeespartar@unac.edu.pe

TELEFONO: 969741500 CELULAR: 969741500

RELACIÓN CON LA UNAC: DOCENTE ☐ ALUMNO ☒ EGRESADOS ☐ OTROS ☐

1. Constancia de Egresado.
2. Diploma Grado de Bachiller.
3. Aprobación Proyecto Tesis
4. Designación de Jurado de Tesis
5. Expedito para Sustentación y fecha de Sustentación de Tesis
6. Diploma de Título Profesional
7. Inscripción Ciclo Actualización Profesional (CAP)
8. Examen Final CAP
9. Diploma Título Profesional por Tesis
10.Aprobar y Sustentación Informe de Experiencia Laboral
11. Diploma Titulo Profesional Informe
12.- Acta Adicional
13.- Certificado de Estudios
14.- Retiro Total de Matrícula
15.- Retiro Parcial de Matrícula
16.- Fraccionamiento de Matricula
17.- Constancia de Matrícula
18.- Duplicado de Syllabus
19.- Reconsideración de Convalidación
20.- Levantamiento de Observaciones
21.- Devolución de documentos
22.- Devolución de Dinero
23.- Subsanación
24.- Revisión Examen Asignatura
25.- Transcripción Resolución
26.- Cambio de Asesor
27.- Completar Expediente
28.- Autorización Titulo Profesional de otra Universidad
29.- Diploma de Grado Académico Maestro y Doctor
30.- Otros

Trámite a realizar:

ESCRIBE EL N° DEL TRÁMITE A REALIZAR 3,4

DETALLE DE LA SOLICITUD:

Solicito aprobación del proyecto de tesis, designación de Jurado Revisor y del docente asesor.

DECLARACIÓN JURADA SIMPLE

Yo, Esparta Rodriguez, José Edmundo con DNI N° 15441600
declaro que los datos y documentos adjuntos son legalmente válidos y corresponden al tenor de la solicitud.

Bellavista, 15 de octubre, 2021

FIRMA

ADJUNTO:
01. Fotocopia simple del Grado de Bachiller
02. Recibo de pago emitido por la Oficina de Tesorería

[redacted]

FOLIO: 02

REPVBLICA DEL PERV

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

A NOMBRE DE LA NACION

El Rector de la Universidad Nacional del Callao

Por cuanto, el Consejo Universitario:

Con fecha 12 de Junio del 2002 ha conferido el Grado Académico

de Bachiller en: Matemática

a Don : José Edmundo Esparta Rodríguez

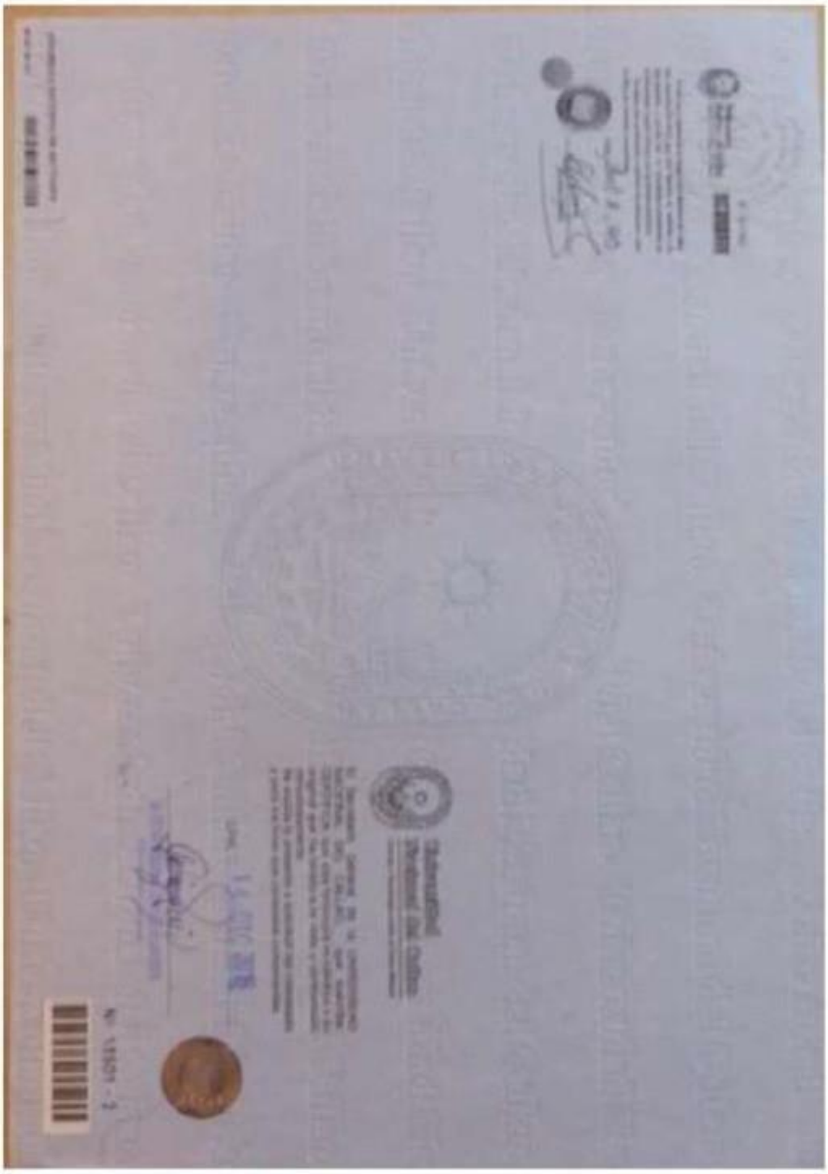
Por tanto, se expide el presente **Diploma** *para que se le reconozca como tal.*

Dado y firmado en el Callao el 13 de Junio del 2002

RECTOR

DECANO

FOLIO: 03



Scotiabank

03 mar., 10:05 a.m.

Transferencia a otra cuenta Scotiabank

FOLIO: 04

Número de operación
784.465.551.0587

Cuenta de origen:	Cuenta Sueldo *** ***0343
Monto enviado:	S/ 372.00
Cuenta de destino:	Universidad Nacional Del Calla Cta. Cte. Soles 000-1797050

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

ESCUELA PROFESIONAL DE MATEMÁTICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EXISTENCIA Y UNICIDAD DE LA SOLUCIÓN DÉBIL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

LICENCIADO EN MATEMÁTICA

JOSÉ EDMUNDO ESPARTA RODRIGUEZ

Callao, 2021

PERÚ

José Edmundo Esparta Rodríguez

Alumno

Dr. Orlando Moreno Vega

Asesor

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: Facultad de Ciencias Naturales y Matemática.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática.

TÍTULO: EXISTENCIA Y UNICIDAD DE LA SOLUCIÓN DÉBIL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER

AUTOR: Bach. José Edmundo Esparta Rodriguez.

ASESOR: . Orlando Moreno Vega

LUGAR DE EJECUCIÓN: Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la universidad Nacional del Callao

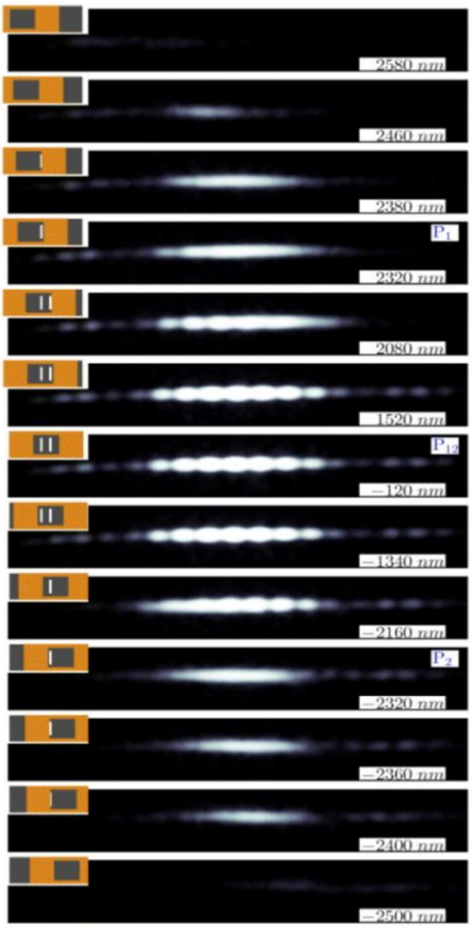
TIPO DE INVESTIGACIÓN: El tipo de investigación desarrollado en este trabajo es básico.

UNIDAD DE ANÁLISIS: Ecuación diferencial no Lineal de Schrödinger

Índice general

INTRODUCCIÓN

Las partículas microscópicas, como el electrón, no se mueven siguiendo las leyes clásicas del movimiento, dadas por la mecánica de Newtoniana. Esas partículas siguen otras leyes que parecen más apropiadas para la propagación de ondas. Esto se observó en el experimento de Young, este comprobó un patrón de interferencias en la luz procedente de una fuente lejana al difractarse en el paso por dos rejillas, resultado que contribuyó a la teoría de la naturaleza ondulatoria de la luz. El artículo: Controlled double-slit electrón diffraction by Roger Bach, Damian Pope, Sy-Hwang Liou and Herman Batelaan. En este artículo se describe cómo por primera vez era posible observar qué pasa cuando tapas dos rendijas, una o ninguna, en tiempo real. Y encontraron:



En la esquina superior izquierda se muestra la posición de una pestaña que puede controlar el número de rendijas abiertas. Se ve cómo se forma y se pierde el patrón de interferencia al pasar de una a dos rendijas abiertas y viceversa.

Podríamos hablar de la importancia de la Física cuántica en la estabilidad de la materia, el origen del universo, etc. Pero gracias a la cuántica se puede manejar semiconductores, lo que nos llevó a una revolución en la electrónica. También gracias a ella podemos hacer cosas tan cotidianas como usar el microondas. También los PET (tomografía por emisión de positrones en inglés Positron Emission Tomography) o las resonancias magnéticas.

En la mecánica clásica, el estado de una partícula es conocido por medio de su posición y de su velocidad en un determinado instante. Este conocimiento sumado a la fuerza (o energía potencial) que actúa sobre esta partícula, permita la descripción completa de la trayectoria subsecuente a través de la segunda ley de newton (La fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración.). Ahora un movimiento ondulatorio será totalmente conocido, si sabemos la dependencia espacial temporal de la función de onda. Observar que para las partículas cuánticas la descripción matemática se parece con más con las de una onda que con las de una partícula.

Suponga una partícula cuántica tenga masa “m” y se mueve sobre influencia de una energía potencial $\boldsymbol{V(x,y,z,t)}$. La función de onda satisface la siguiente ecuación en derivadas parciales.

$$i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\left[\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2}\right] + V(x,y,z,t)\Psi \qquad (0.1)$$

Donde $\boldsymbol{h}$ es la constante de Planck. Esta es la ecuación de Shröedinger, propuesta por el físico austríaco Erwin Shröedinger, en 1926.

Cabe resaltar que, la función de onda es una cantidad compleja, esto conlleva a que esta no puede ser medida directamente por algún instrumento físico. Entonces la función de onda es una representación matemática abstracta del sistema y tiene sentido en la teoría cuántica.

Para finalizar, nuestra investigación está conformada por seis capítulos distribuidos de la siguiente manera: En el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema; en el capítulo II, el marco teórico y algunos resultados preliminares para el desarrollo de nuestro trabajo; en el capítulo III, se dan las hipótesis y variables; en el capítulo IV describiremos la metodología implementada en nuestra investigación. El capítulo V es el centro de la tesis y se mostrará la existencia, existencia y unicidad de soluciones para la Ecuación Diferencial Parcial no lineal de orden superior de shröedinger., en el capítulo VI, realizamos la contrastación de las hipótesis con los resultados y con estos, la comparación con estudios similares. Finalmente, damos conclusiones y recomendaciones que permitirán a otros investigadores complementar nuestro trabajo, así como las referencias bibliográficas respecto a los libros y artículos considerados.

I. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La ecuación de Schrödinger es una ecuación diferencial parcial que gobierna la función de onda de un sistema mecánico cuántico. Es un resultado clave en la mecánica cuántica , y su descubrimiento fue un hito importante en el desarrollo del tema. La ecuación lleva el nombre de Erwin Schrödinger, quien postuló la ecuación en 1925 y la publicó en 1926, formando la base del trabajo que resultó en su Premio Nobel de Física en 1933.

Veamos una partícula cuántica tenga masa "m" y se mueve sobre influencia de una energía potencial $\boldsymbol{V}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{y},\boldsymbol{z},\boldsymbol{t})$ $(\boldsymbol{V}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{y},\boldsymbol{z},\boldsymbol{t})\colon \mathbb{R}^{\boldsymbol{4}} \to \mathbb{R})$ del campo de fuerzas al que se encuentra sometida la partícula. La función de onda satisface la siguiente ecuación en derivadas parciales.

De la ecuación (0.1), h es la constante de Planck. Donde $\boldsymbol{\Psi}(\mathbf{t})$ $(\boldsymbol{\Psi}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{y},\boldsymbol{z},\boldsymbol{t})\colon \mathbb{R}^{\boldsymbol{4}} \to \mathbb{C})$ es un campo escalar complejo conocido con el nombre de función de onda, esta en el espacio de Hilbert y describe el movimiento del electrón. Suponemos que esta función es lo suficientemente suave como para poder efectuar sobre ella las operaciones fundamentales del cálculo. Ref [19], [23], [24].

La solución a esta ecuación es una onda que describe los aspectos cuánticos de un sistema. Sin embargo, interpretar físicamente la onda es uno de los principales problemas filosóficos de la mecánica cuántica.

Se utiliza en física y en la mayor parte de la química para tratar problemas sobre la estructura atómica de la materia. Es una herramienta matemática extremadamente poderosa y la base completa de la mecánica ondulatoria.

Ahora estudiaremos la existencia y unicidad de soluciones débiles en valores complejos de:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial u}{\partial t} - i\Delta u + |u|^{\rho} u = f \quad en\ Q = \Omega \times \left]0,T\right[\\ \\ u = 0 \ \ en \sum = \Gamma \times \left]0,T\right[\qquad\qquad\qquad\qquad (1.1) \end{cases}$$

$$u(x,0) = u_0 \quad en\ \Omega$$

Donde Ω es un conjunto abierto, acotado y suficientemente regular de $\mathbb{R}^N$ con $N > 1$, de frontera $\Gamma = \partial\Omega$ bien regular $0 < T < \infty$ (con Q un cilindro $\Omega \times \left]0,T\right[$), siendo $\rho > 0$. Ref [2], [10], [30],[31], [33], [34].

Donde:

$$u: \Omega \times [0,T] \to \mathbb{C}$$

Para introducir los espacios funcionales fijemos $t \in [0,T]$ pero arbitrario y definimos:

$$u(t) = \Omega \to \mathbb{C}$$

$$x \mapsto u(t)(x) = u\,(x,t)$$

Por comodidad del problema, escribiremos:

$$u\,(x,t) = u(t)$$

Observación:

$$\frac{\partial \boldsymbol{u}(\boldsymbol{t})}{\partial \boldsymbol{t}} = \boldsymbol{u}'(\boldsymbol{t})$$

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{u}(\boldsymbol{t})}{\partial \boldsymbol{t}^2} = \boldsymbol{u}''(\boldsymbol{t})$$

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Para la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1), podemos determinar una solución débil?

1.2.2 Problema Específico

- ¿Para algún valor en particular de $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$, existirá una solución fuerte de la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1)?
- ¿Para $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$ en general, existe una solución débil de la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1)?

1.3 Objetivo de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Encontrar para la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1), una solución débil, para todo $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$.

1.3.2 Objetivo Específico

- Demostrar que existe una única solución fuerte para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$.
- Demostrar que existe una única solución débil para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando $\boldsymbol{\rho}$ toma todos los valores positivos.
-

1.4 Justificación

En el presente está inmerso en la Física – Matemática, las ecuaciones diferenciales parciales no lineales.

En este trabajo estudiaremos la existencia y unicidad de soluciones para la Ecuación Diferencial Parcial no lineal de Shrödinger, el sector beneficiado por los resultados de esta investigación son los estudiantes de ciencias e ingeniería y profesionales afines.

Estudiar la existencia y unicidad de soluciones para la ecuación de Shrödinger se justifica porque es de importancia fundamental para ciertos modelos de la física cuántica.

En muchos aspectos, la tecnología moderna opera a una escala en la que los efectos cuánticos son significativos. Las aplicaciones importantes de la teoría cuántica incluyen la química cuántica, la óptica cuántica, la computación cuántica, los imanes superconductores, los diodos emisores de luz, el amplificador óptico y el láser, el transistor y semiconductores como el microprocesador, imágenes médicas y de investigación como la resonancia magnética y el microscopio electrónico. Las explicaciones de muchos fenómenos biológicos y físicos tienen su origen en la naturaleza del enlace químico, sobre todo la macromolécula del ADN.

El trabajo se justifica también porque la demostración de ello no es un trabajo inmediato, ya que requiere conocimiento de los espacios de Sobolev, teoría de las distribuciones, teoría de la medida, ecuaciones diferenciales parciales, método de Galerkin, entre otros.

1.5 Limitantes de la Investigación

Limitante Teórico

El limitante teórico en donde se encierra nuestra investigación son:

a) Ecuación en derivadas parciales.

b) Análisis funcional.

c) Espacios de Sobolev.

d) La existencia y unicidad que probaremos será en los espacios $\boldsymbol{u} \in \boldsymbol{L}^{\infty}\left(\mathbf{0}, \boldsymbol{T}; \boldsymbol{H}_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}}(\boldsymbol{\Omega})\right) \cap \boldsymbol{L}^{\boldsymbol{p}}$, con $\boldsymbol{p} = \boldsymbol{\rho} + \mathbf{2}, \boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$, $\boldsymbol{\Omega}$ es un conjunto abierto, acotado y suficientemente regular de $\mathbb{R}^{\boldsymbol{N}}$ con $\boldsymbol{N} > \mathbf{1}$

Limitante Temporal

Por ser el trabajo netamente teórico no se presenta limitaciones temporales.

Limitante Espacial

Debido a que nuestra investigación es netamente teórica no se presenta limitaciones espaciales

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

Se considera como antecedentes los siguientes trabajos de investigación por la relación que tienen con el tema de investigación.

2.1.1 Antecedentes Nacional

1. Peña, C. (2014) en su artículo "***Decaimiento exponencial de la ecuación de onda semilineal con disipación localizada***" estudia el siguiente problema:

$$u_{tt} - \Delta u + \alpha(x)u + f(u) + u(x)u_t = 0 \ en \ \mathbb{R}^n x\langle 0, +\infty\rangle$$

   donde prueba el decaimiento exponencial uniforme de la energía con disipación localizada empleando el Principio de continuación única. Esta ecuación describe las oscilaciones de una cuerda elástica sujeta a una fuerte disipativa interna local. En los problemas localmente distribuidos el efecto físico que se da en una vecindad es suficiente para tener información de lo que ocurre en todo el cuerpo. Ver (Peña, 2019)

2.2.2 Antecedente Internacional

1. Lee Y. & Seo I. (2019) en su artículo "***The Cauchy problem for the energy-critical inhomogeneous non linear Shröedinger equation***" estudia el siguiente problema:

$$\begin{cases} i\partial_t u + \Delta u = \lambda |x|^{-\alpha} |u|^{\beta} u, & (x, t) \in \mathbb{R}^n x \mathbb{R} \\ u(x, 0) = u_0(x) \in H^1 \end{cases}$$

donde se estudia la ecuación cúbica no lineal fraccionaria de *Shröedinger* con índice Levy $\frac{4}{3} < \alpha < 2$. Más precisamente, se define la noción de solución para este modelo y obtenemos un resultado muy bueno con respeto por los resultados conocidos en la recta $\mathbb{R}$. Además, probamos para el mismo modelo que la solución de la parte no lineal es más suave que los datos iniciales. Ver (Lee & Seo, 2019)

2. Cavalcante M. & Huaroto G. (2019) en su artículo "***The Cubic nonlinear fractional Shröedinger equation on the half-line***" estudia el siguiente problema:

$$\begin{cases} \boldsymbol{i\partial_t u(x,t) + (-\Delta)^{\alpha/2} u(x,t) = \lambda |u(x,t)|^2 u(x,t),} \quad \boldsymbol{x,t} \in \mathbb{R} \\ \qquad \boldsymbol{u(x,0) = u_0(x)} \in \boldsymbol{I} \end{cases}$$

Donde se recalca que la teoría de la buena definición en $\boldsymbol{H^1}$ se ha estudiado intensamente en los últimos años, pero los enfoques actualmente conocidos no funcionan para el caso crítico $\boldsymbol{\beta = (4 - 2\alpha)} / \boldsymbol{(n-2)}$ sigue siendo un problema abierto. La principal contribución de este trabajo es para desarrollar la teoría de la buena postura en este caso crítico. Ver (Cavalcante & Huaroto , 2019)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Teórico

Definición 2.2.1. (Espacios escalares $\mathbf{L^p}(\Omega)$)

Sea Ω un abierto de $\mathbb{R}^n$ y $1 \leq p < \infty$, se define a $\boldsymbol{L^p}(\Omega)$ como el conjunto (de las clases) de funciones medibles u: $\Omega \rightarrow \mathbb{R}$ tal que $|\boldsymbol{u}|^{\boldsymbol{p}}$ es Lebesgue integrable sobre Ω (ref [2], [29]), es decir:

$$\boldsymbol{L^p}(\Omega) = \left\{ \boldsymbol{u} \rightarrow \mathbb{R} : \boldsymbol{u\, es\, medible}, \int |\boldsymbol{u}(\boldsymbol{x})|^{\boldsymbol{p}}\, \boldsymbol{dx} < \infty \right\}$$

Definición 2.2.2. (Inmersión continua)

Sean V y W espacios de Banach con $V \subseteq W$ como subespacio vectorial. Se dice que V está inmerso continuamente en W denotado por $V \rightarrow W$ si y solo si existe $C > 0$ tal que $|\boldsymbol{u}|_{\boldsymbol{W}} \leq \boldsymbol{C}\, |\boldsymbol{u}|_{\boldsymbol{V}}$,∪ $\forall\, \boldsymbol{u} \in \boldsymbol{V}$**.** Ref [37], [32]

Definición 2.2.3. (Distribuciones escalares)

Denotaremos las derivadas de una función de manera concisa por subíndices y superíndices. Sea el multi-índice $\boldsymbol{\alpha} = (\boldsymbol{\alpha_1}, \boldsymbol{\alpha_2}, \ldots, \boldsymbol{\alpha_n}) \in \mathbb{N}^{\boldsymbol{n}}$ y $\mathbf{x} = (\mathbf{x_1}, \mathbf{x_2} \ldots, \mathbf{x_n}) \in \mathbb{R}^{\mathbf{n}}$, definimos $|\boldsymbol{\alpha}| = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{\alpha_i}$ y el operador de derivación de orden dado por:

$$\boldsymbol{D^{\alpha}} = \frac{\boldsymbol{\partial}^{|\alpha|}}{\boldsymbol{\partial x_1^{\alpha_1} \partial x_2^{\alpha_2} \ldots \partial x_n^{\alpha_n}}}$$

Además, cuando $\boldsymbol{\alpha} = (\boldsymbol{0}, \boldsymbol{0}, \ldots, \boldsymbol{0})$, se define $\boldsymbol{D^0 u} = \boldsymbol{u}, \forall \boldsymbol{u}$. Ref [26],[35]

Definición 2.2.4. (El Espacio $\boldsymbol{D(\Omega)}$ de las funciones de prueba)

Sea Ω un abierto de $\mathbb{R}^{\boldsymbol{n}}$ y $\boldsymbol{\varphi}\colon \boldsymbol{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$ una función continua.

El soporte de φ es el conjunto cerrado en Ω de los puntos x pertenecientes a Ω donde φ no se anula, es decir:

$$Sop(\varphi) = \overline{\{x \in \Omega: \varphi(x) \neq 0\}}$$

Seguidamente, consideremos como $C_0^\infty(\Omega)$ al espacio vectorial de las funciones $\varphi: \Omega \to \mathbb{R}$ con soporte compacto contenido en Ω tal que sus derivadas parciales de todos los órdenes sean continuas (ref [2], [35], [37]), es decir:

$$C_0^\infty(\Omega) = \{\varphi: \Omega \to \mathbb{R}: \varphi \in C_0^\infty(\Omega) con\ Sop(\varphi)\ compacto \subseteq \Omega\}$$

Definición 2.2.5. Diremos que la sucesión $(\varphi_v)_{v\geq 1}$ de funciones en $C_0^\infty(\Omega)$ converge hacia φ en $C_0^\infty(\Omega)$ sí y solo si:

a) Existe un conjunto compacto K de Ω tal que $Sop(\varphi_v - \varphi) \subset K, \forall v \geq 1$
b) $D^\alpha(\varphi_v) \to D^\alpha(\varphi)$uniformemente en K, es decir:

$$\max_{x\in k} |D^\alpha \varphi_v(x) - D^\alpha \varphi(x)| \to 0, si\ v \to \infty, \forall \alpha \in \mathbb{N}^n$$

El espacio $C_0^\infty(\Omega)$ dotado de la convergencia anterior se llama “Espacio de las funciones de prueba “denotado por $D(\Omega)$. Ref [2], [26], [32]

Definición 2.2.6. (Distribución) Sea $\Omega \subseteq \mathbb{R}^n$ un conjunto abierto. LA función $T: D(\Omega) \to R$ tal que:

a. $T(\emptyset_1 + \gamma\emptyset_2) = T(\emptyset_1) + \gamma T(\emptyset_2)\ \ \forall \emptyset_1, \emptyset_2 \in D(\Omega), \forall \gamma \in R$
b. T continua: $\varphi_r \to \varphi$ en $D(\Omega)$ entonces $T(\varphi) \to T(\varphi)$ en R

Obs:

- Al espacio de las distribuciones será denotado por $D'(\Omega)$, es decir:

$D'(\Omega) = T: D(\Omega 0 \to R\ \ / T$ es lineal y continua.

- Si $T \in D'(\Omega)$, denotamos $T(\varphi) \equiv < T, \varphi >$

- Dotamos a $D'(\Omega)$ de la convergencia:

  $T_r \to T$ en $D'(\Omega) \Leftrightarrow < T_r, \varphi > \to <T, \varphi>$, $\forall \varphi \in D(\Omega)$

Ref [2], [26], [32]

Ejemplo: Sea $\Omega \subseteq \mathbb{R}^n$ un conjunto abierto y $U \in L^1_{Loc}(\Omega)$ .Definimos la distribución:

$$T_u: D(\Omega) \to \mathbb{R}$$
$$\varphi \mapsto \langle Tu, \varphi \rangle = \int_\Omega u(x)\varphi(x)\, dx$$

Definición 2.2.7. (Derivadas de distribuciones)

Sea $T \in D'(\Omega)$ y $\alpha \in \mathbb{N}^n$ un multi-índice, se denomina derivada de orden α de T a la distribución $D^\alpha T$ definida por: ($\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \in \mathbb{N}^n$**)**

$$\langle D^{\alpha_T}, \varphi \rangle = (-1)^{|\alpha|} \langle T, D^\alpha(\varphi) \rangle, \forall \varphi \in D(\varphi)$$

Se observa que cada distribución T sobre Ω posee derivadas de todos los órdenes en el sentido de las distribuciones. Ref [26], [32], [35]

Definición 2.2.8. (Espacios de Sobolev)

Sea Ω un abierto limitado de $\mathbb{R}^n$ con frontera $\Gamma = \partial\Omega, 1 \leq p < \infty$ se define el espacio de Sobolev como:

$$H^m(\Omega) = \{u \in L^2(\Omega), D^\alpha u \in L^2(\Omega), \forall |\alpha| \leq m\}$$

Donde D^α es el operador de derivación de orden α, en el sentido distribucional.

De esta manera se tiene:

$$H^1(\Omega) = \{u \in L^2(\Omega), Du \in L^2(\Omega)\}$$

Dadas las funciones $\mathbf{u}, \mathbf{v} \in \mathbf{H^m}(\boldsymbol{\Omega})$ definimos el producto interno:

$$\big((u, v)\big)_{H^m(\Omega)} = \sum_{|\alpha| \leq m} (D^\alpha u_1 D^\alpha v)_{L^2(\Omega)}$$

cuya norma inducida es

$$\|u\|_{H^m(\Omega)} = \left[\sum_{|\alpha| \leq m} |D^\alpha u|_2^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

El espacio $\mathbf{H^m}(\boldsymbol{\Omega})$ es un espacio de Hilbert. Ref [26], 29], [35].

Que $\mathbf{D}(\boldsymbol{\Omega})$ sea denso en $\mathbf{L^P}(\boldsymbol{\Omega})$ no necesariamente se verifica sobre $\mathbf{H^1}(\boldsymbol{\Omega})$ lo que motiva a definir un nuevo espacio de Hilbert denotado por $\mathbf{H_0^1}(\boldsymbol{\Omega}) = \overline{\mathbf{D}(\boldsymbol{\Omega})}^{\|\,\|_{\mathbf{H^1}(\Omega)}}$ con lo que se tiene:

$$H_0^1(\Omega) = \{u \in H^1(\Omega) : u|_\Gamma = 0\}$$

2.2.2 Conceptual

Dentro de las ecuaciones en derivadas parciales que no pueden ser resueltas explícitamente existen métodos que buscan demostrar que por lo menos exista solución sujeta a ciertas características que dependen de la naturaleza del problema, es por ello que en esta investigación demostramos que dicha solución existe, que es única y que ella decae exponencialmente permitiendo que el sistema sea estable en el tiempo.

Articularemos los conceptos que nos permitieron encaminar nuestra tesis

a) Dadas las condiciones del problema, en el sentido débil, los espacios más adecuados para analizar nuestra ecuación serán los espacios de Sobolev. Un espacio de Soolev se define $\boldsymbol{H^m(\Omega)} = \{\boldsymbol{u} \in \boldsymbol{L^2(\Omega)}, \boldsymbol{D^\alpha u} \in \boldsymbol{L^2(\Omega)}, \forall|\boldsymbol{\alpha}| \leq \boldsymbol{m}\}$. Ref [29], [2], [26].
b) Mediante el método de Faedo-Galerkin podremos mostrar la existencia de la solución. Ref [2], [4], [8], [10]
c) Mediante la desigualdad del Lema de Gronwall probaremos que sólo existe una solución del problema (1.1). Ref [2], [10]

2.3 Definición de términos básicos

- **Bien regular:** Un abierto acotado $\boldsymbol{\Omega} \subset \mathbb{R}^{\boldsymbol{N}}$ es denominado bien regular si su frontera Γ es una variedad de clase $\boldsymbol{C}^\infty$ de dimensión n−1 y está localmente de un mismo lado de Γ. Ref [2], [26], [32],

- **Espacio de Banach:** Es un espacio normado y completo, es decir, un espacio normado donde toda sucesión de Cauchy es convergente en algún punto de dicho espacio. Ref [26], [29], [37]

- **Espacio de Hilbert:** Es un espacio normado y completo cuya norma es inducida por un producto interno. Ref [26], [37].

- **Espacio separable:** Espacio que contiene un subconjunto denso y numerable. Ref [2], [35].
- **Espacio reflexivo:** Espacio de Banach que coincide con su bidual. [2],[37].
- **c.s (casi siempre):** Indica que una propiedad se verifica en todo punto excepto en un conjunto de medida nula. [2], [26], [29].

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

Existe una solución en el intervalo $[0,\boldsymbol{T_m}]$, $\boldsymbol{T_m} \in (\mathbf{0}, \boldsymbol{T})$, luego con el teorema Caratheodory, obtendremos la extensión de las soluciones aproximadas de la ecuación no lineal de orden superior de Shröedinger.

3.1.2 Hipótesis Específica

- Existe una única solución fuerte para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando ρ=2.
- Existe una única solución débil para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando ρ toma todos los valores positivos.

3.2 Definición Conceptual de Variables

Variable Independiente:

- Variable espacio-temporal $(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{t}) \in \boldsymbol{\Omega} \times [\mathbf{0}, \boldsymbol{T}]$
- Espacios funcionales: $\boldsymbol{L^p}(\boldsymbol{\Omega}), \boldsymbol{D}(\boldsymbol{\Omega}), \boldsymbol{D}'(\boldsymbol{\Omega}), \boldsymbol{L^p}(\mathbf{0}, \mathrm{T}, \mathrm{V}), \boldsymbol{H^m}(\boldsymbol{\Omega})$.

Variable Dependiente: $\boldsymbol{u}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{t})$

La función $\boldsymbol{u}$ representa dependencia respecto a la variable espacio temporal y está sujeta a la presencia en ciertos espacios funcionales.

3.3 Definición Operacional de las variables

$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{u}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{t})$: Función desplazamiento.

Variable	Dimensiones	Indicadores
u	Existencia	Teorema de Caratheodory
	Unicidad	Desigualdad de Gronwall

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y Diseño de Investigación

4.1.1 Tipo de la Investigación

El tipo de investigación desarrollado en este trabajo es Básica.

4.1.2 Diseño de la Investigación

La investigación que se desarrolla trata de ser lo más exhaustivo posible en cada demostración.

1. Se empezará definiendo los términos básicos ecuación no lineal de orden superior de Shröedinger.

2. Luego se mostrará la existencia de las soluciones locales del problema, para esto aplicaremos el método de Faedo-Galerkin que consiste en aproximarse a las soluciones mediante soluciones proyectadas en dimensión finita, resultando soluciones del tipo

$$\boldsymbol{u_m}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{t}) = \sum_{i=1}^{m} \boldsymbol{g_{im}}(\boldsymbol{t})\boldsymbol{w_i}(\boldsymbol{x}),$$

donde las $\boldsymbol{g_{im}}, \boldsymbol{i} = \boldsymbol{1}, \dots, \boldsymbol{m}$ pueden ser determinadas de manera única, luego con el uso del teorema de Caratheodory extenderemos las soluciones aproximadas de la Ecuación Diferencial Parcial no lineal de orden superior de Shröedinger.

3. Y dicho detalle que viene a ser una metodología matemática para probar la existencia a nuestro problema (1.1) planteado.
4. Finalmente, se aplicará diversas estrategias del Análisis Funcional y del estudio de las ecuaciones diferenciales parciales.

4.2 Método de Investigación

El método fue analítico-deductivo iniciándose con la definición de solución fuerte, definición de los espacios de aproximación $\boldsymbol{V_m}$ resolución del sistema aproximado, estimativas a priori, pasaje al límite, que es la aplicación del Método de Faedo-Galerkin. Este método consiste en construir soluciones aproximadas en espacios de dimensión finita. La idea es probar que estas sucesiones de soluciones son limitadas en espacios adecuados y que convergen débil para la solución del problema

Luego la verificación de las condiciones iniciales y prueba de la unicidad mediante la generalización del Lema de Gronwall. Este lema establece una herramienta utilizada para obtener varias estimativasd en ecuaciones diferenciales. En particular utilizaremos para la unicidad de la solución.

4.3 Población y Muestra

- **Población:** No aplica para este tipo de trabajo.

- **Muestra:** No aplica para este tipo de trabajo.

4.4 Lugar de Estudio

Se realizará de forma remota en la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao.

4.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Por la naturaleza de investigación teórica-matemática, se recurrirá al uso de las técnicas e instrumentos para la recolección de datos cualitativos. Específicamente se usará el método de análisis de Contenido.

4.6 Análisis y Procesamiento de Datos

No se aplica para este tipo de trabajo.

V. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades a realizar	Primer mes	Segundo mes	Tercer mes	Cuarto mes	Quinto mes
Busqueda de articulo científicos relacionados com el tema. Busqueda de textos relacionados com el tema	X				
Lectura y análisis de los artículos científicos. Lectura y análisis de los textos sobre resultados preliminares		X			
Exposición del trabajo. Prueba del teorema de existência Estimativas exposiciones			X		
Conclusión y digitación del trabajo				X	X

VI. PRESUPUESTO

Especificación	Costo(soles)
Materiales y equipos de la oficina	1000
Textos de especialidad	500
Fotocopia, impresiones y espiralados	200
Servicios de internet, softwares, CDs, USB	600
Total	2300

BIBLIOGRAFIA

[1] Arosio, A., & Spagnolo , S. (1982). "global solutions of the Cauchy problem for a nonlinear Hyperbolic equation". *Univerita di Pisa. Departamento de Matemática de Roma*.

[2] Brezis, H. (2010). Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial *Differential Equations*. 2010

[3] Cavalcante , M., & Huaroto , G. (2019). “The Cubic nonlinear fractional Shröedinger equation on the half-line”.

[4] Cousin, A., Frota, C., Larkin, N., & Medeiros, A. (1997). "On the abstract model of Kirchoff-Carrier Equation". *Comm. In App. Analysis*.

[5] Crippa, H. (1993). "On Local Solutions of some midly degenerateHyperbolic Equations". *Non-Linear Analysis*.

[6] Ebihara, Y., Medeiros, A., & Milla, M. (1986). "Local solutions for a nonlinear degenerate hyperbolic equations". *Nonlinear Analysis Vol. 10.*

[7] Ikehata, R. (1995). "A note on the global solvability solutions on some nonlinear wave equations with dissipative term". *Diff. Int Equ.*

[8] Izaguirre, R., & Veliz, V. (1999). "Solución local para una clase de ecuaciones no – lineales degenerado tipo Kirchhoff-Carrier". *I Seminario Internacional de Ecuaciones Diferenciales y aplicaciones. Universidad Ricardo Palma*.

[9] Lee , Y., & Seo, H. (2019). “The Cauchy problem for the energy-critical inhomogeneous non linear Shröedinger equation”.

[10] Lion, L. "Quelques Methodes de Resolution des Problemes aux limites non-lineares". *Dunod. Paris*.2007

[11] Medeiros, L., & Milla, M. (1987). "Solutions for the Equation of Nonlinear Vibrations sobolev spaces of Fractionary Order". *Math. Apl. Comp. 6*.

[12] Nakao, M., & Ono, K. (1993). "Existence of Global Solutions to the Cauchy problem for the semilinear dissipative wave equations".

[13] Oliveira, M., & alves de Lima, O. (1997). "Global solutions for small data of the Carrier Equations with dissipative term". *Atas do 46º.Seminario Brasileiro de Analise.*

[14] Ono, K. (1997). "On Global existence asymptotic stability and blowing up solutions for some degenerate nonlinear wave equations of Kirchhoff typewith a strong dissipative". *Math. Meth Apll. Sci. 20*.

[15] Peña, C. Decaimiento exponencial de la ecuación de onda semilineal con disipación localizado*.* 2019

[16] Perla, G. (1979). "On classical solutions of a quasilinear hyperbolic equations". . *Nonlinear Analysis. Vol. 3*.

[16] Rivera, P. (1980). "On local strong solutions of a nonlinear partial diferential equation". *Appl. Analysis. Vol. 10.*

[17] Yamada, Y. (1987). "Some Nonlinear Degenerate Wave Equations" . *Non Linear Analysis.*

[18] G. Bacciagaluppi, A. Valentini, “Quqntum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference”, Cambridge University Pres, 2009.

[19] J. A. Wheeler, W. H. Zurek, “Quantum Theory and Measurement”, Princenton, University Press, New Jersey 1983.

[20] F. Laloë, “Do We Really Understand Quantum Mechanics, 2dn ed.”, Cambridge University Press, 2019.

[21] M. Jammer, “The Philosophy of Quantum Mechanics: The interpretations of quantum mechanics in historial perspective”, John Wiley & Sons, Inc. 1974.

[22] Controlled double-slit electrón diffraction by Roger Bach, Damian Pope, Sy-Hwang Liou and Herman Batelaan, New Journal of Physics, Volume 15, March 2013

[23] M. Born, “Zur Quantenmechanik de Stossvorgäge”, Zeitschrift für Physik 37, 863-867 (1926).

[24] D. Bohm, “A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” vaiables I”, Phys. Rev. 85, 166-179 (1952).

[25] Kreyszig, E. Introductory Functional Analysis with Applications, vol. 1. wiley New York, 1978.

[26] Jaime E. Muñoz Rivera. Teoria de Distribuciones y Espacios de Sobolev. LNCC-UFRJ 2004

[27] Jaime E. Muñoz Rivera. Estabilização de Semigrupos & Aplicações.

LNCC-UFRJ; 2008.

[28] L.C. Evans, partial differential equations, American Mathematical society, 1997

[29] Robert Adams, Sobolev Spaces, Academic Press INC, (1975)

[30] A. Pazy, Semigroups of Linear Operators and Applications to Partial Differential Equations, Springer, 1983

[31] Carmona, R., and Lacroix, J. Spectral Theory of Random Schrödinger Operators. Springer Science and Business Media, 2012.

[32] Conway, J. B. A Course in Functional Analysis, vol. 96. Springer Science and Business Media, 2013.

[33] Kirsch, W. Random schrödinger operators : a course. In Schrödinger operators. Springer, 1989.

[34] Nakao, S. On the spectral distribution of the schrödinger operator with random potential. Japanese journal of mathematics. New series 3, 1 (1977), 111– 139.

[35] Kesavan, Topics in Functional Analysis and Applications, John Wiley & Sons, New York, (1989).

[36] E. Lages Lima, Curso de Análise (volumen II), Instituto de Matemática Pura e Aplicada (1981).

[37] K. Yosida, Functional Analysis. Springer-Verlag, Berlin (1966).

[38] Cazenave T. An introduction to nonlinear Shrödinger equation. IM-UFRJ 1996

[39] Sudem C, Sulem P. The nonlinear Shrödinger equation: self- focusing and wave collape. Springer. 1999

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	METODOLOGIA	POBLACIÓN
DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA En la presente Investigación pretendemos encontrar la existencia de solución y aplicaciones del problema (1.1) **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA** **Problema General** ¿Para la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1), podemos determinar una solución débil? **Problema Específico** ¿Para algún valor en particular de $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$, existirá una solución fuerte de la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1)? ¿Para $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$ en general, existe una solución débil de la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1)?	**Objetivo General** Encontrar para la ecuación diferencial parcial no lineal (1.1), una solución débil, para todo $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$. **Objetivo Específico** Demostrar que existe una única solución fuerte para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando $\boldsymbol{\rho} > \mathbf{0}$. Demostrar que existe una única solución débil para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando $\boldsymbol{\rho}$ toma todos los valores positivos.	**Hipótesis General** Existe una solución en el intervalo $[0,\boldsymbol{T_m}]$, $\boldsymbol{T_m} \in (\mathbf{0},\boldsymbol{T})$, luego con el teorema Caratheodory, obtendremos la extensión de las soluciones aproximadas de la ecuación no lineal de orden superior de Shrödinger. **Hipótesis Específica** Existe una única solución fuerte para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando ρ=2. Existe una única solución débil para la ecuación diferencial no lineal (1.1) cuando ρ toma todos los valores positivos.	**TIPO DE INVESTIGACION** El tipo de investigación desarrollado en este trabajo es Básica. **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN** La investigación que se desarrolla trata de ser lo más exhaustivo posible en cada demostración. 1.Se empezará definiendo los términos básicos ecuación no lineal de orden superior de Shröedinger. 2.Luego se mostrará la existencia de las soluciones locales del problema, para esto aplicaremos el método de Faedo-Galerkin que consiste en aproximarse a las soluciones mediante soluciones proyectadas en dimensión finita, resultando soluciones del tipo $$\boldsymbol{u_m}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{t}) = \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{m} g_{im}(\boldsymbol{t})w_i(x)$$ donde las $\boldsymbol{g_{im}}, \boldsymbol{i} = \mathbf{1},\dots,\boldsymbol{m}$ pueden ser determinadas de manera única, luego con el uso del teorema de Caratheodory extenderemos las soluciones aproximadas de la Ecuación Diferencial Parcial no lineal de orden superior de Shröedinger. 3.Y dicho detalle que viene a ser una metodología matemática para probar la existencia a nuestro problema (1.1) planteado. 4.Finalmente, se aplicará diversas estrategias del Análisis Funcional y del estudio de las ecuaciones diferenciales parciales.	**Población:** Por la naturaleza del trabajo, no existe población que estudiar por lo que solo indicamos que se trabajó con ecuaciones de derivadas parciales con las condiciones indicadas en el problema (1.1).