

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Doctorado en Ciencias  
en Electrónica y Telecomunicaciones  
con orientación en Telecomunicaciones**

---

**Transmisión de señales biomédicas mediante redes satelitales:  
hacia una estandarización de QoE/QoS en sistemas de e-Salud**

Tesis  
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Doctor en Ciencias

Presenta:

**Verónica Alexandra Rojas Mendizábal**

Ensenada, Baja California, México  
2017

Tesis defendida por  
**Verónica Alexandra Rojas Mendizábal**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dr. Roberto Conte Galván**  
Codirector de tesis

---

**Dra. Amanda Oralia Gómez González**  
Codirectora de tesis

**Dr. Arturo Serrano Santoyo**

**Dr. Andrés Martínez Fernández**

**Dr. Francisco Javier Mendieta Jiménez**

**Dr. Raúl Rivera Rodríguez**

**Dr. Salvador Villarreal Reyes**



---

**Dr. Daniel Saucedo Carvajal**  
Coordinador del Posgrado en  
Electrónica y Telecomunicaciones

---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**  
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Verónica Alexandra Rojas Mendizábal** como requisito parcial para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones con orientación en Telecomunicaciones.

**Transmisión de señales biomédicas mediante redes satelitales: hacia una estandarización de QoE/QoS en sistemas de e-Salud**

Resumen aprobado por:

---

**Dr. Roberto Conte Galván**  
**Co-Director de tesis**

---

**Dra. Amanda Oralia Gómez González**  
**Co-Directora de tesis**

Las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) son una herramienta que tiene el potencial de contribuir a mejorar las condiciones de vida de la sociedad si es bien orientada. Las TIC se han convertido en una extensión de nosotros mismos a través de un sinnúmero de aplicaciones que nos apoyan en diversas tareas. Es por esto que, los desarrolladores de tecnología deben conocer las necesidades del destinatario, adecuarse a sus requerimientos y tener conocimiento del contexto de aplicación; es decir, deben entender que un desarrollo tecnológico involucra también a la parte humana. Las TIC pueden ser una herramienta de apoyo en el área de la salud, es por ello que en la actualidad la e-Salud, Telesalud y Telemedicina son disciplinas de gran interés. El uso de las TIC pueden aportar a mejorar la atención a pacientes, ya sea como apoyo y seguimiento de la parte administrativa, llevar un registro clínico, el registro de los fármacos, monitoreo a pacientes, dar consultas en áreas remotas, capacitar a su personal en áreas remotas, entre otras. Para que la tecnología sea aceptada tanto por gente que brinda un servicio asociado a la salud como por los pacientes, existen varios factores importantes relacionados con la calidad, tanto en su dimensión interna como externa que deben tomar en cuenta características cualitativas, subjetivas y de satisfacción o de adecuación entre niveles cognitivos que presenten el usuario y la herramienta desarrollada. Anteriormente, se generaban recomendaciones para atender parámetros técnicos, pero mediante la introducción del término Calidad de Experiencia (QoE), se ha demostrado que es importante poner atención tanto a la parte objetiva como a la subjetiva en la interacción del humano con la tecnología digital. Al usar QoE, se sugiere que las emociones que se generen en el uso de un determinado equipo o dispositivo tecnológico tienen gran impacto en su usabilidad. En el presente trabajo se genera un modelo basado en el análisis de los actores que constituyen el sistema de e-Salud, resaltando la importancia que tiene el llevar a cabo un análisis integral del entorno de aplicación en este sistema; para que la tecnología sea un apoyo efectivo para los médicos y pacientes. Dadas las características del modelo desarrollado, su aplicación se puede dar en áreas vulnerables donde el uso de la telemedicina apoya el despliegue de aplicaciones tecnológicas para la salud. Bajo esta premisa, se debe considerar que es clave el adecuar la tecnología a los contextos y requerimientos de sus habitantes. En la mayoría de los casos, los proyectos que involucran llevar tecnología a áreas rurales, pretenden que la gente se adecúe a la tecnología en lugar de implementar tecnología adecuada a sus habitantes. El presente trabajo sigue una aproximación ecosistémica, que incluye actores tanto tecnológicos como humanos, y donde el escenario de intervención es una parte del mismo ecosistema. En este trabajo de investigación se realizó un ejercicio específico para una aplicación de ultrasonido en un medio rural, donde los participantes llenaron una encuesta cuyos resultados fueron integrados para estimar el valor de QoE, con ayuda de una simulación de lógica difusa. La aproximación ecosistémica seguida en este trabajo fue fundamental para percibir y analizar los rasgos de complejidad de los escenarios de intervención de e-Salud. Adicionalmente, mediante una simulación de lógica difusa llevada a cabo sobre la aplicación de ultrasonido, se transforman las variables lingüísticas de la encuesta en parámetros operables para estimar QoE. La aplicación del marco de referencia

propuesto en este trabajo de investigación puede apoyar al personal médico y tecnólogos al incorporar la tecnología digital en intervenciones médicas. Cabe señalar que el enfoque de la complejidad utilizado en este trabajo fue un importante habilitador para refinar la estimación de QoE en la intervención estudiada. Ya que la complejidad está inmersa tanto en QoE como en los sistemas de e-Salud, se argumenta entonces que ambas disciplinas se comportan inherentemente como un sistema dinámico complejo. Esta consideración fue clave para: a) refinar el planteamiento del problema; b) evitar “hacer más de lo mismo”; c) desarrollar una visión integral con soluciones a la medida de los requerimientos del contexto.

**Palabras clave:** Sistemas Complejos, e-Salud, QoS, QoE, Lógica Difusa

Abstract of the thesis presented by **Verónica Alexandra Rojas Mendizábal** as a partial requirement to obtain the Doctor of Science degree in Electronics and Telecommunications with orientation in Telecommunications.

**Biomedical signals transmission using a satellite communication link: toward a QoE/QoS standardization in e-Health systems.**

Abstract approved by:

---

Roberto Conte Galván Ph.D.  
Thesis Codirector

---

Amanda Oralia Gomez Gonzalez Ph.D.  
Thesis Codirector

Information and Communication Technologies (ICT) have become an important tool with potential to improving living conditions. ICT are immersed in practically all human affairs; under these circumstances, technology and society are inseparable. By the same token, technology developers must understand the conditions and requirements of the users, as well as the nature of the context. They must understand that technology development also involves human aspects, i.e., people must be considered the central element and purpose of technology design. In this regard, Quality of Experience (QoE) has been used as an important tool for assessing the usability and user acceptance of a particular device, service or technology application. International standard setting agencies, technology manufacturers, as well as academic groups have relied on QoE estimations to understand the interactions of technology and human behavior. In this contribution, we draw on complexity science to incorporate in the estimation of QoE the interplay of the ecosystem, the behavior, and the interactions among the agents. We provide a platform to estimate QoE to assessing the relationship between technology and human factors involved in e-Health projects. Our proposal is focused on a rural environment, given that e-Health interventions have been useful to respond to critical sustainable development needs in these contexts. In this work, we apply a heuristic procedure to incorporate complexity principles for estimating QoE using Fuzzy-Logic simulations in order to understand the influence of human factors in a gynecology intervention intended for a rural setting. The results of our simulation show that the applications of complexity principles in our e-Health intervention may contribute to develop integrated design strategies of devices and systems, thus providing, a balance of technology performance and human behavior, i.e., a balance between QoS, Quality of Service (technology performance metric) and QoE (human and technology performance metric). In other words, QoE offers valuable information for developing and designing devices and equipment taking into account factors involving emotions and other variables of human nature associated to a particular context. Likewise, it is relevant to stress that our ecosystemic approach was also key to identify and analyze complexity traits in the resulting simulation scenarios. Furthermore, complexity was an important enabler to refine the estimation of QoE in the e-intervention studied. Hence, complexity is immersed in QoE as well as in e-Health, we argue then, that they inherently behave as dynamic complex systems. This realization is fundamental for: a) to refine the problem statement; b) to avoid doing more of the same; and c) to develop a holistic vision with solutions tailored to society as a whole when planning and implementing e-Health interventions.

**Keywords:** Complex Systems, e-Health, QoS, QoE, Fuzzy-Logic.

## Dedicatoria

*A mis padres*

*Augusto Rojas López*

*Tania Mendizábal Mendizábal*

*A mi hermano*

*Carlos Augusto Rojas Mendizábal*

## Agradecimientos

A Diosito, por nunca abandonarme y poner tantos ángeles en mi camino.

A mi madre, Tania Mendizábal Mendizábal, por su amor incondicional, sus consejos sabios y el acompañamiento de siempre, estando cerca o lejos. Por la fortaleza que me transmite y que no me ha dejado caer durante este trayecto. Por apaciguarme siempre mientras tomo impulso para mi siguiente locura.

A mi padre, Augusto Rojas López, por ser el mejor ejemplo de integridad y sabiduría que puedo tener. Por la paz que brinda estar junto a él. Por apoyarme en mis decisiones y darme siempre aliento para seguir. Por permitirme ser diferente y libre siempre.

A mi hermano, mejor amigo, sensei, Carlos Augusto Rojas Mendizábal, por ser mi cómplice siempre y por estar para apoyarme. Por sus locuras que le dan sentido a la vida y por sus enseñanzas. Por jugar siempre conmigo, ayudándome a mantener a la niña interna.

A mis abuelitos, Fidel Rojas y Ma. Lía López de Rojas, que en paz descansen. Por todo lo que me acompañaron durante mi infancia, mostrándome el amor incondicional. Por todos esos juegos que me ayudaron a desarrollar la creatividad.

A mis asesores, Dr. Roberto Conte Galván y Dra. Amanda Gómez González, por guiarme y apoyarme en este camino del doctorado. Por confiar en este trabajo. No pude tener mejores maestros no sólo académicamente, sino maestros de vida.

Al Dr. Arturo Serrano Santoyo, por ser una excelente persona y sacar a flote este trabajo siempre que me desanimaba. Por convertirse en mi mentor durante esta etapa de mi vida, no solamente en el aspecto académico, sino también espiritual. Porque sus palabras siempre animan a seguir, crecer y no olvidar nunca la verdadera esencia. Por confiar en mí y motivarme a “ver con nuevos ojos.”

A los miembros de mi comité Dr. Salvador Villarreal, Dr. Raúl Rivera, Dr. Andrés Martínez y Dr. Javier Mendieta por su apoyo durante este trabajo.

A mis amigas Elizabeth Rubí y Eunice Amador, por su apoyo incondicional y regresarme siempre a la realidad. Por las terapias e historias que acompañaron esta etapa de mi vida. Gracias porque se han convertido en mi familia durante estos años. Porque ser seres dignos de admiración.

A mi amiga, Patricia Peralta, porque siempre ha estado para apoyarme.

A mis amigos, Claudia Valdez, Gabriela Solano, Rosa Arroyos y Leonel Rodríguez, por brindarme su apoyo y por todos los momentos vividos que hicieron de este viaje más ligero.

A mis amigas, Leslie Vázquez y Edith Fernández, que siempre están brindándome su apoyo, oídos y consejos.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, por otorgarme los recursos y la infraestructura para realizar mis estudios y trabajo de tesis. Porque todas las personas que son parte de este Centro, tanto en el área administrativa como académica, nos apoyan en el día a día y nos facilitan el trayecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de doctorado.

A Astrium CASA Espacio, la fundación Enlace Hispanoamericano de Salud (EHAS) y la Universidad Rey Juan Carlos por apoyarme durante mi estancia en Madrid y por facilitarme las prácticas en dichas instituciones. Sobre todo al Dr. Andrés Martínez por ser un ejemplo en aplicación de la ciencia para la sociedad y aportar al desarrollo de sitios desatendidos.

Gracias a todas esas personas que me ayudaron en cada paso durante esta aventura, ya que me ayudaron a librar cada obstáculo en el camino.

## Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iv
Dedicatorias.....	v
Agradecimientos.....	vi
Lista de figuras.....	xi
Lista de tablas.....	xiii
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Justificación .....	4
1.3. Hipótesis.....	5
1.4. Objetivos .....	5
1.1.1. Objetivo general.....	5
1.1.2. Objetivos específicos.....	5
<b>Capítulo 2. Marco Teórico .....</b>	<b>6</b>
2.1. Calidad de Experiencia (QoE) .....	6
2.1.1. Calidad de Servicio (QoS) .....	7
2.1.2. Relación entre QoE y QoS .....	8
2.1.3. Grupos de estudio de QoE .....	9
2.1.4. Factores subjetivos de QoE y contexto .....	16
2.2. E-Salud.....	17
2.2.1. Diferenciando e-Salud, Telesalud y Telemedicina.....	18
2.2.2. Impacto de la e-Salud .....	19
2.2.3. Obstáculos de e-Salud .....	21
2.2.4. Determinantes sociales de la Salud.....	22
2.2.5. Lecciones aprendidas .....	23

2.3.	Perspectiva desde la Ciencia de la Complejidad .....	24
2.3.1.	Sistemas complejos .....	24
2.3.2.	Salud y Sistemas complejos.....	25
2.3.3.	Ecosistema.....	27
2.4.	Simulación de sistemas complejos.....	29
2.4.1.	Sistemas difusos .....	30
2.4.2.	Redes neuronales.....	32
2.4.3.	Sistemas neuro-difusos .....	34
2.4.4.	Sistema de inferencia Neuro-difusa adaptativa (ANFIS).....	35
<b>Capítulo 3. Metodología.....</b>		<b>40</b>
3.1.	Aspectos metodológicos a considerar en el desarrollo del trabajo de tesis.....	40
<b>Capítulo 4. Marco de Referencia para la estimación de QoE basado en el ecosistema de e-Salud .....</b>		<b>42</b>
4.1.	Ecosistema de e-Salud.....	45
4.2.	Actores e Interacciones.....	46
4.3.	Atributos y reglas de comportamiento .....	48
<b>Capítulo 5. Estimación de QoE para una intervención de Telediagnóstico .....</b>		<b>52</b>
5.1.	Aplicación del Marco de Referencia en un Servicio de Telediagnóstico: Caso ultrasonido.....	52
5.1.1.	Definición de un escenario y objetivo de intervención de e-salud.....	53
5.1.2.	Identificación de actores e interacciones dentro del escenario .....	54
5.1.3.	Identificar las variables a utilizar.....	56
5.1.4.	Aplicación de encuesta y observación .....	57
5.1.5.	Análisis de los resultados de las encuestas y la observación.....	58
<b>Capítulo 6. Resultados.....</b>		<b>62</b>
6.1.	Resultados .....	62
<b>Capítulo 7. Discusión .....</b>		<b>65</b>

- Capítulo 8. Conclusiones ..... 66**
- 8.1. Conclusiones y recomendaciones .....66
- 8.2. Recomendaciones .....67
- 8.3. Trabajo futuro .....68
  
- Literatura citada..... 69**
  
- Anexos ..... 74**

## Lista de figuras

Figura	Página
Figura 1: Antiguo y nuevo paradigma de la eficiencia en sistemas de comunicaciones.....	7
Figura 2. QoE/QoS.....	8
Figura 3. Cadena causal QoE/QoS.....	9
Figura 4: Calidad de Experiencia (UIT, 2008).....	10
Figura 5: Recomendación ITU-T G.1030 para evaluar QoE.....	11
Figura 6: Relación entre aproximaciones de QoE y QoS para la ETSI (ETSI, 2010). ....	12
Figura 7. Medición de QoE y proceso de mejora (Nokia, 2004).....	15
Figura 8. Algunas características que influyen en QoE. ....	16
Figura 9: Información contextual.....	17
Figura 10. TIC aplicadas en salud.....	19
Figura 11: E-Salud, Telesalud y Telemedicina. ....	19
Figura 12: Obstáculos de la e-Salud. ....	21
Figura 13: Determinantes sociales de la salud (“DDS - Dispositivo Global,” 2017).....	22
Figura 14. Pentagrama de las partes interesadas en el sistema de salud (World Health Organization, 2011) .....	23
Figura 15. Propósito de e-Salud.....	26
Figura 16. Elementos del Ecosistema de e-Salud.....	29
Figura 17: Razonamiento ANFIS.....	36
Figura 18: Red adaptiva equivalente ANFIS.....	37
Figura 19. Parámetros involucrados en QoE.....	44
Figura 20. Elementos de un ecosistema de e-Salud.....	45
Figura 21. Actores e interacciones de un sistema de e-Salud.....	48
Figura 22. Flujos de información entre actores.....	49
Figura 23. Escenario de Telediagnóstico, caso: dispositivo de ultrasonido.....	54
Figura 24. Principales actores dentro el escenario.....	55
Figura 25. Esquema general de parámetros involucrados para la evaluación de QoE.....	56
Figura 26. Esquema de simulación.....	58
Figura 27. Funciones de membresía. ....	60
Figura 28. QoSoftware.....	61

Figura 29. Estimación de QoE mediante lógica difusa .....	61
Figura 30. Valores de QoE para diferentes valores de QoS; a) QoS =10%, b) QoS =50% y c) QoS =90%.....	63

## Lista de tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Factores que impactan el desempeño de una aplicación de e-Salud (Broens et al., 2007).....	3
Tabla 2: Formato para estructurar la encuesta.....	12
Tabla 3. Ejemplo de calidad de experiencia de accesibilidad y retención .....	14
Tabla 4. Ejemplo de calidad de servicio de integridad KPI.....	15
Tabla 5: Impacto de la e-Salud en diversos actores.....	20
Tabla 6. Atributos y reglas de comportamiento de los actores .....	50
Tabla 7. Resumen de insumos tecnológicos .....	53
Tabla 8. Rendimiento de la red .....	59
Tabla 9. PLR de la red .....	59
Tabla 10. Retardo de la red .....	59
Tabla 11. Jitter de la red.....	60
Tabla 12. Requerimientos de QoS para diferentes aplicaciones de Telemedicina .....	62

## Capítulo 1. Introducción

---

En la actualidad, el desarrollo de tecnologías ha tomado un valor importante dentro de la sociedad y avanza a gran velocidad; además, está inmersa en distintas tareas de la vida cotidiana. Sin duda, la tecnología se ha convertido en un aliado para realizar diversas labores, sobre todo cuando se desarrolla en función de las necesidades de los usuarios. Es por esto que, los desarrolladores de tecnología deben conocer y adecuarse a los requerimientos principales de los usuarios finales, quienes van a interactuar con la tecnología dentro un entorno de aplicación, para de ese modo hacer que la tecnología tenga un impacto significativo en los usuarios.

El presente trabajo intenta mostrar la importancia de observar de manera holística los problemas, sobre todo cuando se trata de desarrollar tecnologías que van a apoyar al sector salud. Esto debido a que los temas de salud involucran varios aspectos además de los tecnológicos. Existen algunos trabajos que describen la importancia de considerar aspectos tanto sociales como económicos en el desarrollo de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), y cada vez más, se intenta estudiar el comportamiento humano frente a las tecnologías. La e-Salud, al ser una herramienta con la cual se podría apoyar a diferentes niveles de atención y diferentes entornos, requiere de especial atención y adaptación a contextos específicos. El presente trabajo propone que, para tener mejores resultados al implementar las TIC en apoyo de la salud, se debe realizar un análisis del ecosistema de las tecnologías de la salud (análisis ecosistémico) que permita seleccionar los actores relevantes que interactúan para cumplir un objetivo.

Existen factores internos de diseño de tecnología, que tienen que ver principalmente con la pericia de los desarrolladores para que la tecnología funcione de manera correcta, cumpliendo con diferentes estándares de calidad. Sin embargo, también existen factores externos al desarrollo de la tecnología, la cual no solamente va a depender de un equipo desarrollador, sino que también va a depender del entorno de aplicación y el de los usuarios finales. Es por eso que se deben tomar en cuenta características cualitativas, subjetivas y de satisfacción o de adecuación entre niveles cognitivos que presenten el usuario por un lado, y a la tecnología desarrollada por otro. Para tal propósito, se utilizan en este trabajo los parámetros de Calidad de Servicio (QoS) para los aspectos tecnológicos junto a los de Calidad de Experiencia (QoE), que ponen a consideración la incorporación de factores humanos al uso de la tecnología.

Es así como el vertiginoso avance tecnológico conlleva la aparición de nuevos desafíos para los creadores y desarrolladores de tecnología, lo cual implica ver los problemas a partir de nuevos cortes de realidad y buscar mayor empatía con los usuarios finales. Para el usuario, cada vez aparecen nuevas formas de interactuar con aplicaciones y dispositivos, que pueden facilitar la utilización del mismo, simplificando la adaptación de la tecnología para los usuarios. Con el paso del tiempo, existirá la necesidad de facilitar acceso a mayores volúmenes de información y servicios a cada vez más colectivos de la población gracias a la Sociedad de la Información en la que vivimos.

El avance tecnológico puede aportar soluciones creativas y a la medida de los usuarios, siempre y cuando se tomen en cuenta los diversos elementos involucrados en las intervenciones de salud mediadas por la tecnología. La creación de un marco de referencia que permita observar de la manera más completa posible es precisamente una de las principales motivaciones de la presente investigación.

## **1.1. Antecedentes**

El desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el sector salud brinda importantes oportunidades para la creación de sistemas y procesos eficientes para mejorar la calidad y la cobertura de los servicios de salud. Sin embargo, muchos proyectos no tuvieron trascendencia debido a que no se les dio un enfoque adecuado al contexto de aplicación, ni se realizó un estudio de sustentabilidad. Una de las principales causas del fracaso de proyectos de e-Salud es debido a que el desarrollo se centra en la propia tecnología, más que en las necesidades de la población beneficiaria o de los profesionales en salud, y muchas veces existe la paradoja de tener una solución tecnológica en busca de un problema de salud que solucionar (Martínez, 2001). De ahí la importancia de realizar la lectura de la realidad social del contexto como primer paso para conocer cómo la tecnología podría ser incorporada en distintos entornos, para que de esa manera, la tecnología pueda mejorar los procesos de atención a la salud.

La Cooperación Española ha creado una Guía para la incorporación de las TIC en las intervenciones de Salud en la Cooperación para el Desarrollo (Bebea González, Martínez Fernández, & Rey Moreno, 2012), en la que se presenta una revisión sistemática de los proyectos de e-Salud en países en desarrollo. Dicho documento explica que la mayoría de las experiencias de e-Salud en sistemas de salud en países

desarrollados y en países en desarrollo no han sido evaluadas con suficiente rigurosidad como para poder recomendar directamente su replicación.

El trabajo de Broens (Broens et al., 2007) muestra que existen diferentes factores involucrados en la implementación de proyectos de e-Salud, se observa que la adaptación del usuario es la determinante de mayor impacto en la e-Salud (Ver Tabla 1). De aquí se puede argumentar que mientras no se tenga en cuenta la importancia de considerar diferentes disciplinas en los proyectos de e-Salud (en particular para zonas rurales), ni se realice un plan acorde al contexto y que considere la importancia de las habilidades digitales de la población, los proyectos de e-Salud seguirán teniendo ciclos de vida cortos y eficiencia marginal.

**Tabla 1.** Factores que impactan el desempeño de una aplicación de e-Salud (Broens et al., 2007).

Característica	Porcentaje
Adaptación del Usuario	37%
Factores de desarrollo tecnológico	29%
Influencia del contexto	13%
Políticas y legislación	11%
Factores financieros	10%

Dos de las agencias de la Organización de Naciones Unidas (ONU): la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), han puesto especial atención en el uso de las TIC en el área de la salud. En diversos documentos de estas agencias, se definen términos como Cibersalud, e-Salud, Telesalud y Telemedicina, los cuales se detallan en el capítulo 2 del presente documento. Según la UIT y la OMS, es importante desarrollar proyectos y estándares de aplicaciones de las TIC a la salud, sobre todo en países emergentes, y así lograr su participación no sólo en el uso de la tecnología, sino también en procesos regulatorios clave, como es la estandarización (World Health Organization, & International Telecommunication Union, 2012).

En base a lo mencionado anteriormente, surge la motivación de estudiar la intersección entre los factores humanos y los factores tecnológicos dentro una intervención de e-Salud.

## 1.2. Justificación

Con los recientes avances en telecomunicaciones y ciencias de la computación, la e-Salud se ha convertido en una opción viable para mejorar la calidad de vida de la población. Sin embargo, por su naturaleza compleja, su aplicación en diferentes entornos no es trivial, ya que en tales casos está en juego la vida humana. Una manera de aproximarse a mejores soluciones para la implementación de intervenciones en e-Salud es mediante QoE, término que ha emergido de la necesidad de incorporar en dichas intervenciones aspectos relacionados a las variables subjetivas y objetivas de los actores involucrados.

Hasta el momento, no existen recomendaciones, modelos, ni marcos de referencia en donde se incorpore QoE dentro del área de e-Salud, por lo que en este trabajo se plantea una propuesta de marco de referencia para atender esta situación. Bajo tales circunstancias, resulta pertinente llevar a cabo un análisis integral del entorno de aplicación de un sistema de e-Salud mediante una aproximación ecosistémica que incluya actores tanto tecnológicos como humanos. Es decir, el marco de referencia propuesto en este trabajo se convierte en una herramienta que puede apoyar en los aspectos de manufactura de equipos y dispositivos médicos, aparte del desarrollo de intervenciones de e-Salud, tomando en cuenta consideraciones de comportamiento humano y de contexto, y con ello contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la salud.

Dado que en este ecosistema de salud interactúan diversos actores dentro de un contexto particular, es recomendable llevar a cabo un análisis integral con un enfoque sistémico. Se ha demostrado que el incorporar las TIC en dicho ecosistema ayudar a mejorar la atención y cobertura de los servicios ofrecidos. Cuando existen limitaciones de infraestructura o falta de especialistas médicos, la tecnología puede contribuir a reducir los retos asociados y convertirse en una herramienta de gran utilidad para el mejoramiento de las intervenciones de salud.

### **1.3. Hipótesis**

El análisis de los elementos y el contexto de los ecosistemas de salud y el desarrollo de un marco de referencia que incluya factores tanto humanos, como económicos y sociales provee una base sólida para que la adopción de sistemas, procesos y dispositivos sean aprovechados integralmente en intervenciones de e-Salud.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.1.1. Objetivo general**

- Realizar un marco de referencia QoE/QoS para evaluar sistemas de e-Salud, planteando un ecosistema de e-Salud, identificando sus agentes y estudiando las interacciones entre los mismos.

#### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Plantear un ecosistema de e-Salud, para diferentes escenarios.
- Identificar los agentes que participan y las interacciones entre los mismos.
- Utilizar lógica difusa para la estimación de QoE en un escenario de teleconsulta con el uso de una sonda de ultrasonido.
- Proponer una alternativa de abordaje en intervenciones de e-Salud.

## Capítulo 2. Marco Teórico

---

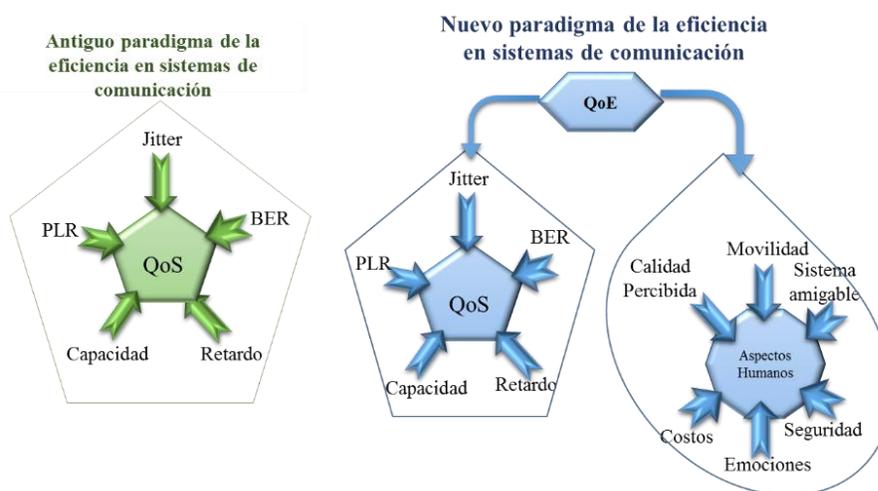
Este capítulo introduce los conceptos básicos utilizados para la elaboración del trabajo de investigación. Se parte de una explicación de la Calidad de Experiencia (QoE) y su relación con la Calidad de Servicio (QoS). Como se mencionó en los antecedentes, han surgido varios conceptos que hacen referencia al uso de las TIC en salud. Es importante partir de una base epistemológica sólida para lo que fue necesario diferenciar los términos utilizados por diferentes instancias relacionadas a TIC y salud. Tanto la QoE como los temas relacionados a la salud tienen una naturaleza compleja, de ahí surge el interés de observar desde una perspectiva sistémica, involucrando tanto aspectos humanos como tecnológicos y analizando la interacción entre los mismos. Para la realización del presente trabajo, se usó una visión desde la Ciencia de la Complejidad, para obtener datos de análisis se aplicó lógica difusa, utilizando el Sistema de Inferencia Neuro Difuso Adaptativo (ANFIS, por sus siglas en inglés) de Matlab (MATLAB & Simulink, 2017).

### 2.1. Calidad de Experiencia (QoE)

En el pasado, las redes eran evaluadas objetivamente midiendo los criterios numéricos para determinar la calidad de la red, a esta medida la denominaron Calidad de Servicio (QoS) de la red. Sin embargo, este parámetro se enfoca más al análisis del servicio desde el punto de vista de la eficiencia de la red y los medios de comunicación involucrados, y no tiene por objeto satisfacer a los usuarios. Después, se empezó a hablar del término de Calidad de Experiencia (QoE), el cual hace referencia a la aceptación por parte de los usuarios a cualquier aplicación o servicio, pretende maximizar la calidad percibida de los usuarios y reducir al mínimo el impacto sobre los recursos del sistema. Este término adopta un entendimiento más holístico de calidad percibida por el usuario final, incluyendo todo el sistema de extremo a extremo. La satisfacción de usuario no solo se ve influenciada por los parámetros de QoS, sino que también se incluyen otros aspectos como los clientes, terminales, redes, servicios, infraestructura, contenidos, etc. (Alreshoodi & Woods, 2013). La Figura 1 muestra el cambio de paradigma en la evaluación de la eficiencia los sistemas de comunicación, anteriormente centrados es aspectos tecnológicos y actualmente poniendo la atención en el usuario final.

La QoE está determinada por las sensaciones, percepciones y opiniones de gente que interactúa con un determinado software o aplicación, y estas características pueden ser satisfactorias o frustrantes. Muchos factores contribuyen a que un usuario acepte más algún dispositivo a algún software, incluyendo

su efectividad, facilidad de aprendizaje, confiabilidad y adecuación. La QoE abarca diferentes parámetros para diferentes aplicaciones (Patrick et al., 2004).



**Figura 1:** Antiguo y nuevo paradigma de la eficiencia en sistemas de comunicaciones.

QoE es un término multidimensional, ya que involucra aspectos relacionados a las emociones de los usuarios y diferentes aspectos socio-técnicos. Actualmente la tecnología tiene el reto de cubrir los requerimientos de los usuarios en apoyo a a diferentes tipos de servicio y brindando cada vez mejor servicio multimedia, interactividad y tiempo de respuesta rápido; de aquí la importancia de analizar cada contexto de forma detallada (Chen, Tu, & Xiao, 2009).

### 2.1.1. Calidad de Servicio (QoS)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en el campo de la telefonía, definió QoS como “La totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio” (UIT-T E.800, 2008). El objetivo de QoS es garantizar la capacidad de una red para entregar resultados confiables. Algunos de los elementos que ayudan a evaluar QoS por lo general son la disponibilidad (uptime), ancho de banda (throughput), retardo (delay), variación del retardo (jitter) y la tasa de errores (error rate).

QoS toma en cuenta los siguientes puntos para ser evaluada:

- Disponibilidad, la cual es el porcentaje de tiempo que el servicio está funcionando.
- Características de seguridad, incluyendo algunos mecanismos de autenticación, confidencialidad e integridad de datos del servicio ofrecido.
- Respuesta en tiempo, la cual hace referencia en el tiempo que tarda el sistema en obtener respuesta a diferentes solicitudes.

### 2.1.2. Relación entre QoE y QoS

Por definición, la QoE se ve altamente influenciada por QoS, es decir, si no se logran ciertas características tecnológicas, el usuario no va a recibir con agrado cualquier desarrollo tecnológico. La Figura 2 muestra la relación que existe entre QoE y QoS donde, como se puede observar, el sistema de comunicación puede ser evaluado desde un punto de vista tecnológico, asegurando que el desempeño del desarrollo sea eficiente y se cubran ciertas expectativas para el usuario. Por otro lado, se puede observar que QoE incluye a los usuarios de la tecnología, la cual se va a ver influenciada también por otros aspectos, como el contenido de la información que se esté transmitiendo, el contexto y, mucho más importante, el factor humano y sus habilidades para interactuar con la tecnología.

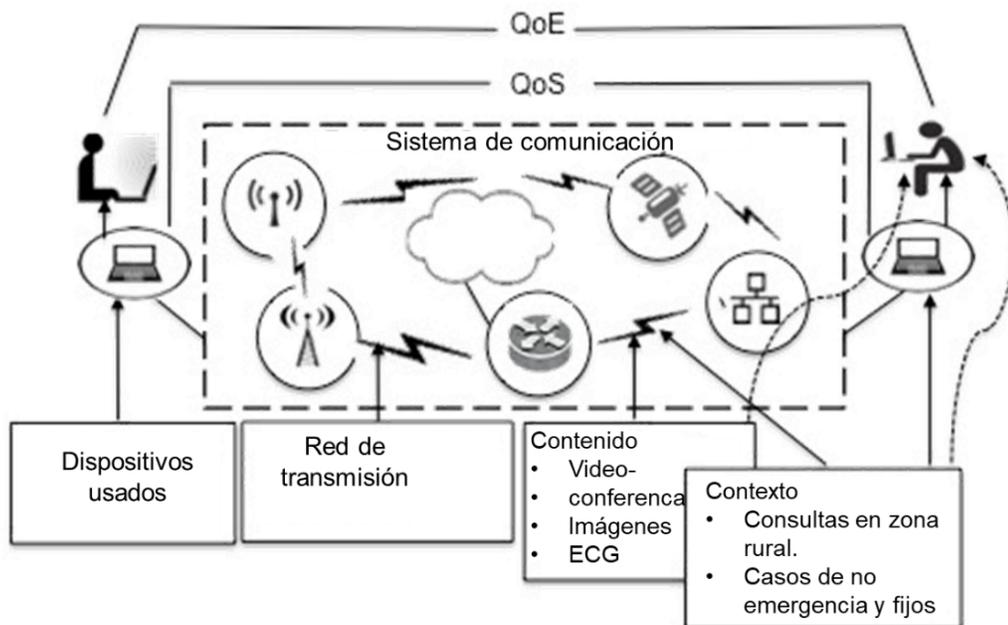
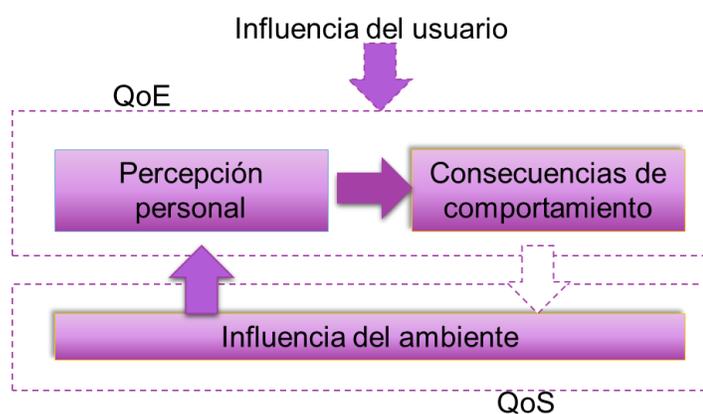


Figura 2. QoE/QoS

QoE y QoS son ideas totalmente diferentes pero relacionadas entre sí mediante una cadena causal, en la cual las influencias del ambiente mezcladas con la QoS impactan en la percepción cognitiva del usuario, como muestra la Figura 3. La percepción que tenga el usuario sobre la tecnología va a impactar en el comportamiento que tenga hacia la misma, y este mismo comportamiento, ya sea de rechazo o aceptación, va a influenciar a que dicha interacción se le haga más fácil o más difícil para apegarse más a la tecnología.

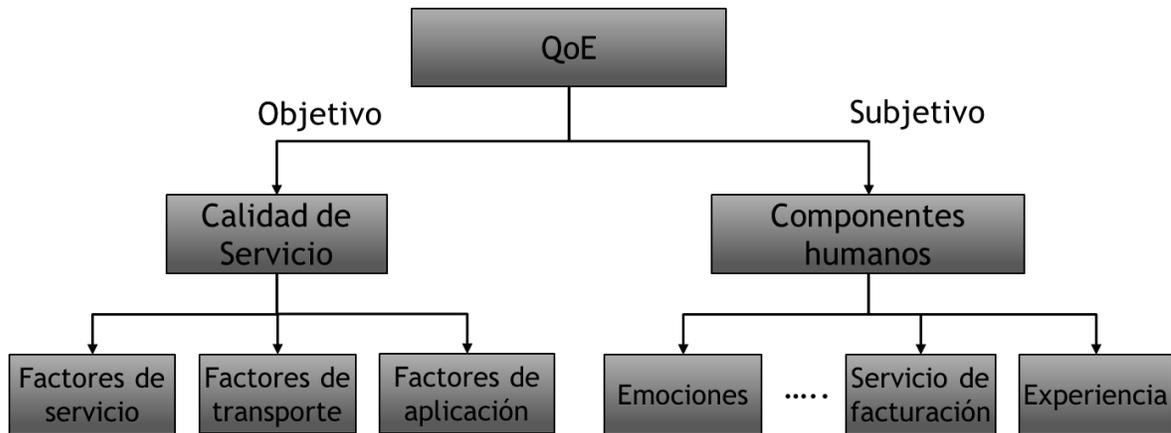


**Figura 3.** Cadena causal QoE/QoS

### 2.1.3. Grupos de estudio de QoE

Diversos grupos de estudios -dentro de entidades regulatorias, academia e industria- relacionados a las telecomunicaciones han mostrado interés por definir y generar herramientas que apoyen a evaluar QoE en diversos servicios brindados. Por resumir algunos de los trabajos relativos se mencionarán las definiciones brindadas dentro de los entes regulatorios: la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y el Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones (ETSI, por sus siglas en inglés); relacionados a la industria, se mencionará a Nokia; a la fecha, la Universidad Dagstuhl en Alemania ha realizado talleres relacionados a QoE.

- a) **Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).** La UIT en (ITU-T P.1080 Rec. Series G, 2008), define a QoE como: “La aceptabilidad total de una aplicación o servicio, tal como es percibida subjetivamente por el usuario final”. Dicho documento también explica que QoE es un término más extenso que QoS, ya que mientras que QoS mide la calidad de los datos entregados por una red, QoE incluye factores adicionales que afectan a la percepción del usuario (ver Figura 4); además de mencionar que la aceptabilidad total puede estar influenciada por expectativas del usuario y del contexto.



**Figura 4:** Calidad de Experiencia (UIT, 2008)

Para evaluar la QoE extremo a extremo de un sistema, la UIT propone la metodología mostrada en la Figura 5. Menciona que primero se debe estimar la calidad del funcionamiento de la red, para lo cual se debe asegurar que la red que va a transportar la información tenga las características mínimas para brindar un servicio. A continuación, se debe valorar la calidad del funcionamiento de la aplicación con la cual el usuario interactúa directamente. Finalmente, se evalúa la calidad percibida por el usuario, lo que se puede realizar con diversos instrumentos ya establecidos en recomendaciones de la UIT (ITU-T P.1080 Rec. Series G, 2008).

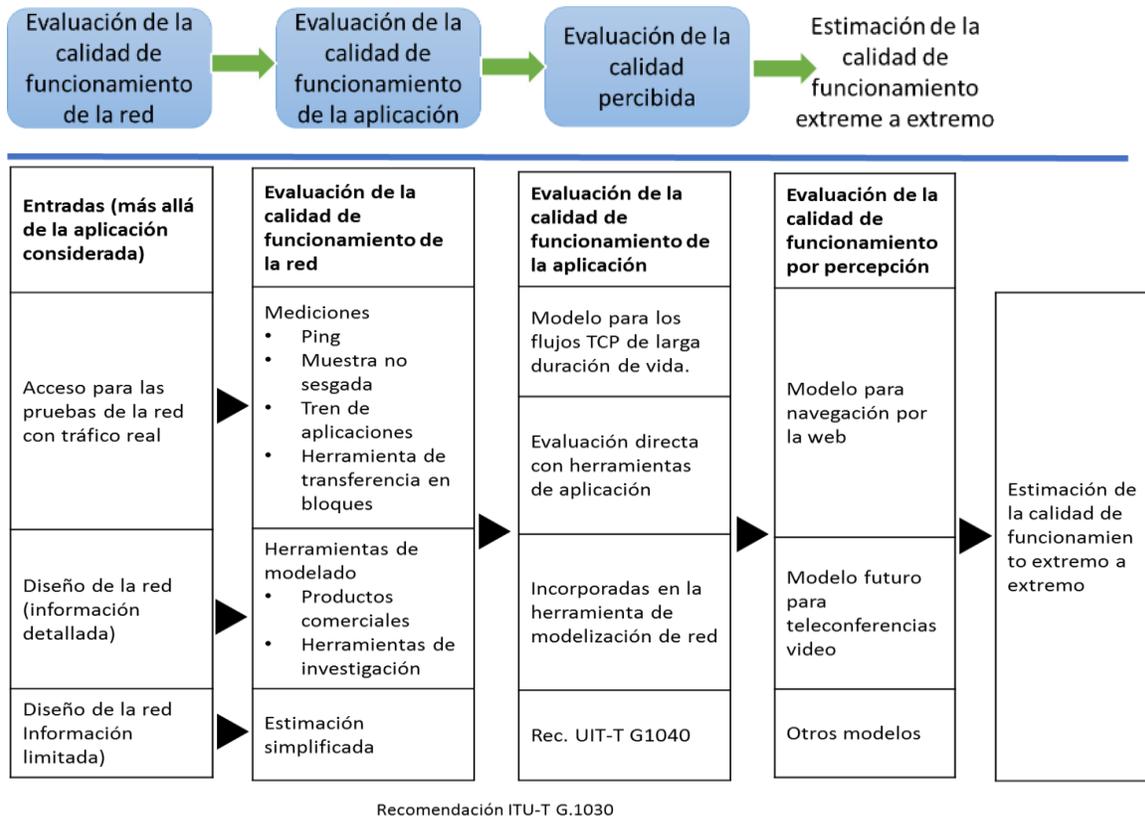


Figura 5: Recomendación ITU-T G.1030 para evaluar QoE

b) **Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones (ETSI)**. Define QoE como la medida de desempeño del usuario basado en aspectos subjetivos y objetivos del uso de productos o servicios de TIC (ETSI, 2010). Explica que QoE toma en cuenta parámetros técnicos (como QoS) y variables del contexto del uso (por ejemplo, las tareas de comunicación), y mediciones de los procesos y resultados del uso (efectividad de usuario, eficiencia, satisfacción y aprovechamiento). La medición psicológica correcta puede depender del contexto de comunicación. Las mediciones psicológicas objetivas no dependen de la opinión del usuario (Tiempo que toma completar una tarea, exactitud de la tarea); estas mediciones psicológicas subjetivas se basan en la opinión del usuario y su comportamiento ante la tecnología.

Dado que QoS y QoE coexisten, si se necesita mejorar un servicio para el usuario final, los proveedores de servicio deben realizar algunas mejoras técnicas en los parámetros de QoS para

que el nivel de QoE se incremente. La Figura 6 resume el espacio definido de QoE para la ETSI, donde la QoE está formada por un espacio centrado en la tecnología y otro espacio centrado en el usuario. La coexistencia. Según su reporte (ETSI, 2010), el término QoE es bastante amplio, ya que implica factores humanos, sin embargo ellos prefieren limitar su espacio a considerar los resultados de uso.



**Figura 6:** Relación entre aproximaciones de QoE y QoS para la ETSI (ETSI, 2010).

**Tabla 2:** Formato para estructurar la encuesta.

<b>Si</b>	“Situación de comunicación”
<b>Usando</b>	“Tipo de servicio”
<b>Con</b>	“Parámetros técnicos”
<b>Entonces</b>	“Experiencia de usuario”

El ETSI en (ETSI, 2003) propone generar un formato guía de requerimientos de usuario, el cual parte de generar una base de datos detallada, después genera un test estructurado para el usuario. La base de datos debe incluir un laboratorio de experimentación, un panel de expertos y literatura alrededor de algún campo de estudio. Sugiere también, que la encuesta estructurada debe contemplar la regla mostrada en la Tabla 2 para obtener una aproximación de la combinación de QoE y QoS, la cual incluye cuatro atributos: “situación de la comunicación”, “tipo de servicio”, “parámetros técnicos” y “experiencia de usuario”.

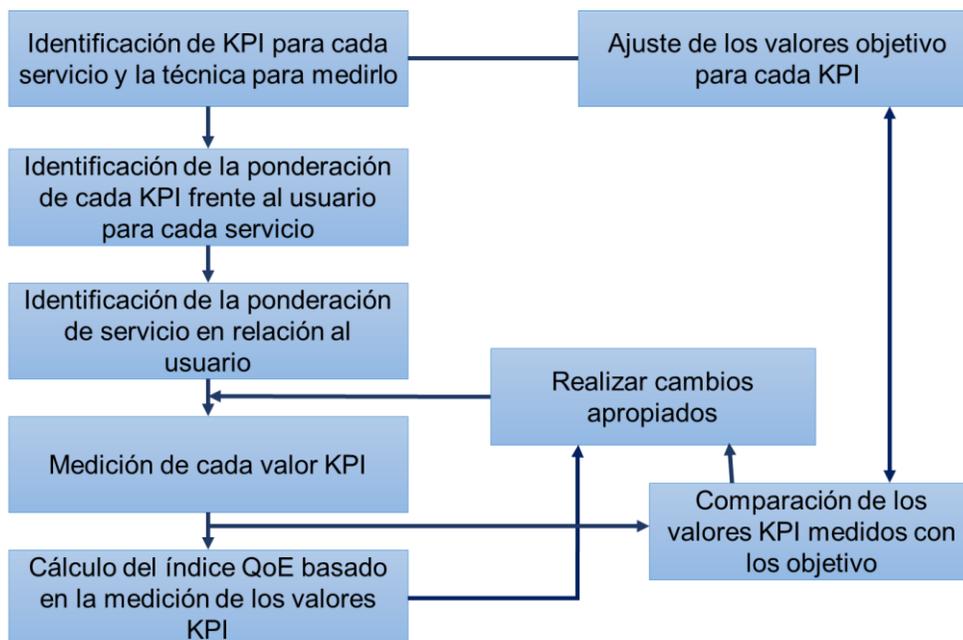
- c) **Nokia.** Menciona que QoE es la percepción y satisfacción del usuario sobre la usabilidad de un servicio. El término QoE se refiere a la sensación del usuario sobre la calidad en particular de un servicio o red. También explica que hay algunos indicadores importantes como son la confiabilidad y la comodidad, entre otros. Nokia recomienda que se definan Indicadores Claves de Percepción (KPIKPI, por sus siglas en inglés) para cada servicio que se desee evaluar. La Tabla 3 muestra un ejemplo de indicadores clave para evaluar la accesibilidad y retención de un determinado servicio, y la Tabla 4 muestra un ejemplo de indicadores clave para evaluar la calidad de un servicio. El proceso de evaluación de QoE y mejoras que propone Nokia se muestra en la Figura 7, en los cuales usa los valores KPI correspondientes a cada tipo de servicio brindado (Nokia, 2004).

**Tabla 3.** Ejemplo de calidad de experiencia de accesibilidad y retención

<b>QoE KPI</b>	<b>Mediciones más importantes</b>
Disponibilidad de servicio (en cualquier lugar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cobertura local y global incluida (roaming, etc.)</li> <li>- Qué tan transparente es para el usuario.</li> <li>-Cuál es el nivel de información que el proveedor de servicio brinda al usuario y las facilidades para el soporte.</li> </ul>
Accesibilidad de servicio (en cualquier momento)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El grado de éxito de las conexiones del usuario para cualquier servicio.</li> </ul>
Tiempo de acceso al servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los retardos en la configuración de acceso a cualquier servicio de conexión.</li> </ul>
Continuidad del servicio rango de conexión-interrupción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La retención de los servicios de conexión y su desempeño en el tiempo.</li> </ul>

**Tabla 4.** Ejemplo de calidad de servicio de integridad KPI

QoE *KPI	Mediciones más importantes
Calidad de sesión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taza de pérdida de paquetes en la capa de aplicación.</li> <li>- Velocidad de bits alcanzada respecto al rango de velocidad de bit demandada por la aplicación.</li> <li>- Estabilidad al portador (variación de la velocidad de bit respecto de la velocidad bit negociada %).</li> <li>- Caudal promedio para dispositivos móviles (kbit/s).</li> <li>- Retardo promedio punto a punto (ms o s).</li> <li>- Jitter (variación de retardo %).</li> </ul>
Facilidad de uso	- Que tan fácil es el uso del servicio ofrecido por la red.
Nivel de soporte	- Que tan rápido y fácil es obtener ayuda por parte del usuario.

**Figura 7.** Medición de QoE y proceso de mejora (Nokia, 2004)

d) **Universidad Dagstuhl, Alemania.** Esta institución académica tiene varios trabajos relacionados a QoE y realiza seminarios anuales para discutir sobre este tema (Wadern, 2017). Ellos definen a QoE como el grado de complacencia del usuario de un servicio influenciado por el contenido, red, servicio, aplicación, expectativas y objetivos del usuario y contexto de uso. Comentan que QoE tiene un factor de influencia, la cual hace referencia a las características de los usuarios, sistemas, servicios, aplicaciones o el contexto, los cuales pueden influenciar a la percepción del usuario. La Figura 8 muestra algunas características que influyen para que los usuarios determinen un grado de QoE en diferentes dispositivos y servicios.



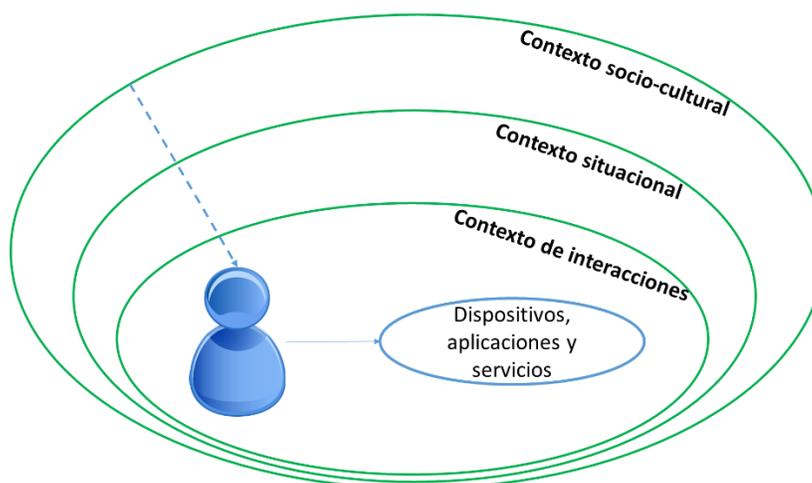
**Figura 8.** Algunas características que influyen en QoE.

#### 2.1.4. Factores subjetivos de QoE y contexto

Los factores subjetivos asociados a QoE son diferentes debido a diferentes causas:

- Las preferencias al momento de decir si un servicio es bueno o no es subjetiva. La misma red aceptada por un usuario puede ser rechazada por otro.
- La experiencia también está asociada al contenido, por lo que un juicio por parte del entorno puede afectar en la opinión sobre QoE.
- La paciencia y tolerancia son dos características críticas que tienen efecto en QoE.
- Dentro de los aspectos psicológicos, las emociones individuales también afectan QoE.

Los factores que influyen en QoE son los factores humanos, de sistema y el contexto (Möller & Raake, 2014). Los autores se refieren al factor humano como las características variantes e invariantes de los usuarios del servicio, su origen demográfico y socio-económico, la constitución física y mental o la condición emocional del usuario. El sistema hace referencia a la parte tecnológica. El contexto describe el escenario en el cual se desenvuelven los usuarios, se pueden definir diferentes contextos, como los relacionados a los dispositivos, el contexto físico y temporal, social, económico, entre otros. La Figura 9 muestra los contextos en multi-nivel, los cuales influyen en la interacción entre el usuario y la tecnología. La información del contexto tiene impacto en la percepción que tendrá el usuario sobre algún dispositivo, aplicaciones y servicios. Esta Figura 9 muestra el contexto socio-cultural, el situacional y el contexto de interacciones.



**Figura 9:** Información contextual

## 2.2. E-Salud

El uso de las tecnologías de información y comunicación en apoyo a la salud ha llevado a la creación de nuevos términos como son la e-Salud, Telesalud, y Telemedicina, entre otros. El presente trabajo adopta el término e-Salud refiriéndose al uso de las TIC, en especial la Internet, para mejorar y facilitar el cuidado de la salud a nivel clínico y no clínico. Este término no sólo abarca un desarrollo tecnológico, también

incluye una forma de trabajo, actitud y un compromiso de pensamiento global, para mejorar la atención de salud tanto a nivel local, regional y mundial mediante las TIC (Chetley et al., 2006).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) advierte que el uso de las TIC en salud no solo se relaciona con la tecnología, también implica compromisos más ambiciosos, como el apoyo para que los profesionales en salud tomen las mejores decisiones, una atención de salud más segura y de mayor calidad, que la población acceda a su propia información para decidir sobre su salud, gobiernos más responsables de las necesidades de salud, desarrollo de sistemas de salud más eficaces y equitativos en cada localidad y nación (PAHO-WHO, 2012).

### **2.2.1. Diferenciando e-Salud, Telesalud y Telemedicina**

La Organización Panamericana de la Salud (PAHO) intentó explicar varios términos y aplicaciones de las TIC en el sector salud (Antonio Hernández, 2006); la Figura 10 muestra todas las áreas en las cuales se podrían usar tecnologías para mejorar la calidad de atención a los pacientes. Pese a que en la literatura puede existir confusión entre los términos e-Salud, Telesalud y Telemedicina, si bien son términos interconectados entre sí, la PAHO esquematizó dichos términos y son explicados en la Figura 11. Según la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2014), se define Telemedicina como el uso de las telecomunicaciones para diagnosticar y tratar enfermedades. La Telesalud incluye vigilancia, promoción de salud y funcionamiento de salud pública, es un término más amplio que Telemedicina e incluye la asistencia de computadora y telecomunicaciones para el apoyo de gestión, vigilancia, literatura y acceso a conocimiento en medicina. E-Salud, se considera entonces, como la transferencia de los recursos y cuidado de la salud por medios electrónicos: entregar información de la salud para profesionales y consumidores en salud, incluye el uso de comercio electrónico y negocios electrónicos en la práctica de salud.

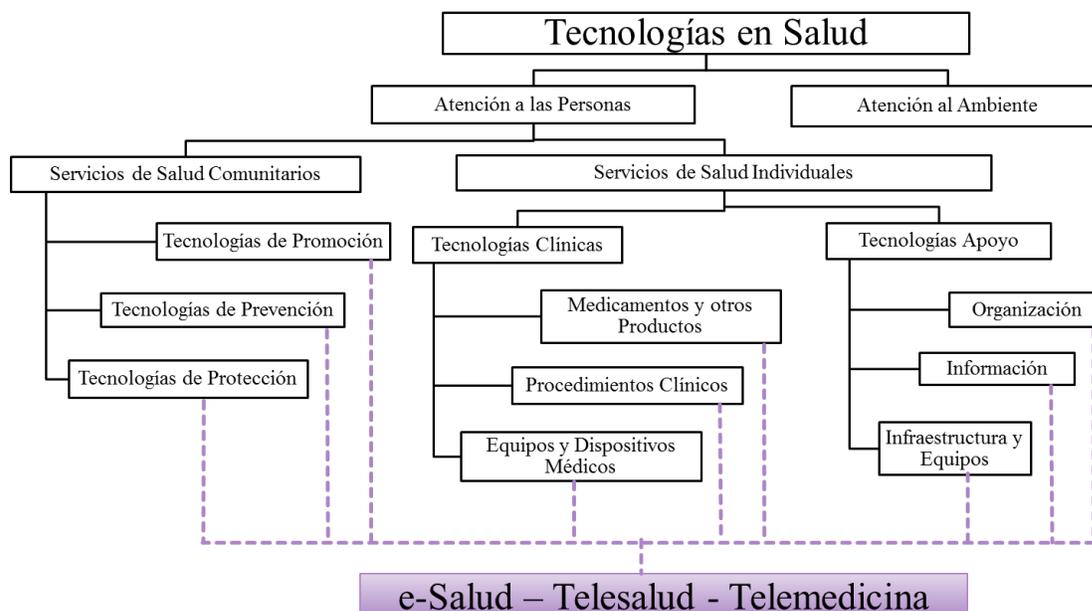


Figura 10. TIC aplicadas en salud

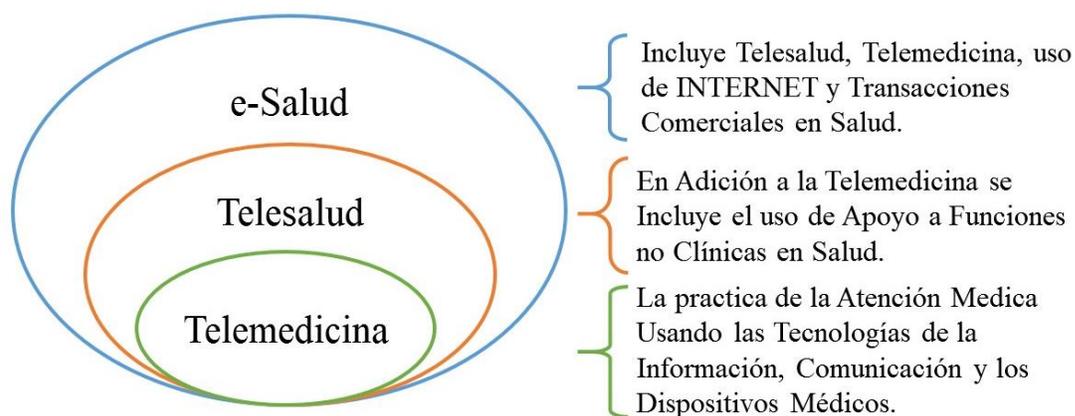


Figura 11: E-Salud, Telesalud y Telemedicina.

### 2.2.2. Impacto de la e-Salud

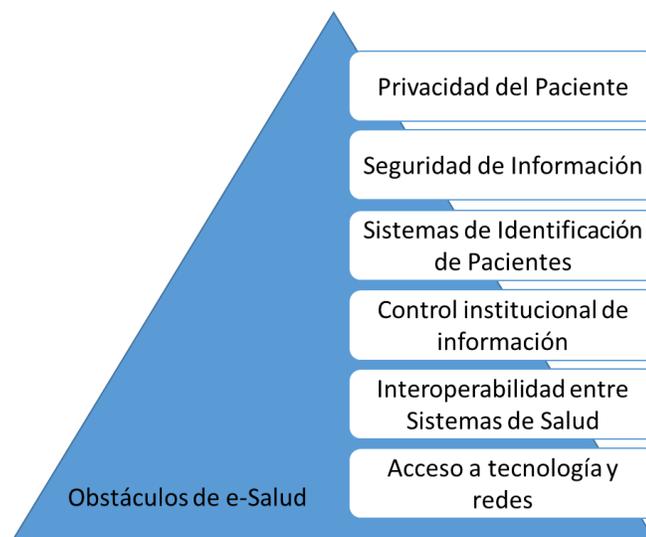
La e-Salud, orientada de una manera correcta, tiene un gran impacto sobre los diferentes entes conectados a la salud como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Impacto de la e-Salud en diversos actores.

<b>Sectores</b>	<b>Impacto de la e-Salud</b>
Población	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atención personalizada, en el sistema de salud impacto en la esperanza de vida.</li> <li>• Permite la atención de salud en casa, trabajo o escuela –no solamente en hospitales y clínicas.</li> <li>• Se enfoca en la prevención, educación y autocontrol.</li> <li>• Facilita la búsqueda de consejos y apoyo.</li> </ul>
Profesionales en investigación y prácticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brinda acceso a conocimiento actual, especializado, acreditado para el cuidado clínico, salud pública e investigación.</li> <li>• Permite comunicación entre pacientes y proveedores.</li> <li>• Posibilita formación de nuevos profesionales con educación a distancia de alta calidad.</li> <li>• Permite la consulta remota con pacientes, para buscar una segunda opinión médica y redes de profesionales.</li> </ul>
Hospitales, academia y salud pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hospitales establecidos como proveedores de red virtual, conectando a todos los niveles del sistema.</li> <li>• Monitores de calidad y seguridad, mejora el proceso de atención al paciente y reduce la probabilidad de errores.</li> <li>• Asistencia para movilidad de las personas y su registro médico -provee al paciente su información cuando y donde éste la necesite.</li> <li>• Abrir nuevas oportunidades en base para aplicar la investigación, registro de salud electrónico, y sistemas de información y registros clínicos.</li> <li>• Extender la colaboración y la potencia de computación compartida (por ejemplo las redes de computadoras).</li> <li>• Entregar servicios sobrepasando las barreras de distancia y tiempo.</li> <li>• Estandarizar la solicitud y entrega de medicinas y suplementos.</li> </ul>
Negocios aplicados a la salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proveer tanto contenidos de salud como comodidad al público y profesionales en salud.</li> <li>• Facilitar la investigación y desarrollo de nuevos productos y servicios: registro clínico electrónico, sistemas de información y registros clínicos.</li> <li>• Permite mercadeo amplio y costo-eficiencia para productos de salud y servicios para negocios y gobiernos.</li> </ul>
Gobierno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita el acercamiento a otros usuarios para obtener recomendaciones y apoyo. Proporciona informes y reportes fiables y oportunos sobre la salud pública; ya que la salud se convierte cada vez más central para la economía, seguridad y asuntos exteriores y relaciones internacionales.</li> <li>• Crea entornos habilitadores en lugar de limitaciones tecnológicas.</li> <li>• Ofrece nuevas funciones para los interesados, profesionales en salud, autoridades, población y otros.</li> <li>• Identifica los retos en enfermedades y factores de riesgo; análisis demográfico, datos sociales y de salud; modelos de enfermedades en la población.</li> </ul>

### 2.2.3. Obstáculos de e-Salud

Sin embargo, la e-Salud todavía se enfrenta a algunos desafíos (ver Figura 12) que deben ser atacados para que tanto los pacientes como médicos y demás profesionales en salud, sientan la confianza de aprovechar de la mejor manera las ventajas que tiene la tecnología para facilitar algunos procesos de atención. En este sentido, sería importante desarrollar guías prácticas, clínicas y crear estándares que posibiliten ir derrumbando dichos obstáculos.



**Figura 12:** Obstáculos de la e-Salud.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) expone en su documento *TIC y el Sector Salud*, explica que las soluciones basadas en tecnología necesitan luchar contra algunas barreras para satisfacer las necesidades clínicas como son las interacciones sociales, las limitaciones en conocimiento, la resistencia a cambios de comportamiento, heterogeneidad en los datos, desacuerdos en semántica y o las limitaciones de los sistemas cibernéticos actuales (OECD, 2010). Debido a la complejidad y amplia gama de esta problemática, se requieren equipos multidisciplinarios de científicos y e ingenieros para lograr mejorar la calidad de vida, la independencia de enfermedades crónicas y personas ancianas y otros aspectos de bienestar. Los avances tecnológicos también son importantes para entender cómo se podría promover de manera atractiva estilos de vida que apoyen la salud, incluyendo dietas y ejercicios y participen en sus propias decisiones al cuidado de la salud (OCDE, 2013). Es necesario un cambio de paradigma en la atención a la salud, en lugar de tener enfoque en enfermedades, se requiere un modelo

proactivo y preventivo centrado en el paciente, atendiendo la calidad de vida y bienestar del entorno. En este sentido, las TIC en salud ofrecen muchas oportunidades sobretodo porque facilita una atención personalizada.

#### 2.2.4. Determinantes sociales de la Salud



**Figura 13:** Determinantes sociales de la salud (“DDS - Dispositivo Global,” 2017)

La Organización Mundial de la Salud ha propuesto algunos determinantes sociales asociados a la salud. Se pueden observar que los ejes socio-económicos, políticos, culturales y geográficos tienen gran impacto en la salud de la población. La Figura 13 muestra las características individuales (desde la genética hasta los hábitos), pasando por las redes sociales y comunitarias, las condiciones de vida y trabajo (ambiente de trabajo, desempleo, educación, agua e higiene, producción de agricultura y comida, servicios de salud) y las condiciones generales socio-económicas, culturales y ambientales. (“DDS - Dispositivo Global,” 2017).

### 2.2.5. Lecciones aprendidas

La transformación del sistema de salud requiere la participación de todas las partes interesadas. Las asociaciones suelen facilitar el cambio y el sector de la telemedicina no es diferente. La Figura 14 muestra la importancia de crear sistemas de salud basados en las necesidades de las personas, y con la participación de los líderes de la comunidad, los profesionales de la salud, las instituciones académicas y los educadores, los administradores de la salud y los responsables políticos, se representa la mejor alianza para hacer los cambios necesarios para reflejar y responder a las necesidades de la sociedad.



**Figura 14.** Pentagrama de las partes interesadas en el sistema de salud (World Health Organization, 2011)

La OMS, en el reporte “Telemedicina: Oportunidades y desarrollos en estados miembros” (World Health Organization, 2011), resume las lecciones aprendidas en e-Salud.

1. La colaboración, la participación y la creación de capacidades son fundamentales para el éxito y la sostenibilidad de las iniciativas de telemedicina.
2. Las organizaciones y las personas que participan en iniciativas de telemedicina en los países en desarrollo deben ser conscientes del contexto local en el que trabajan, es decir, los recursos, las necesidades, las fortalezas y las debilidades disponibles.

3. Utilizar soluciones simples que satisfagan adecuadamente las necesidades de un contexto clínico o de una comunidad para optimizar la rentabilidad y minimizar la complejidad en el manejo del cambio.
4. La evaluación es vital para la escalabilidad, la transferibilidad y la mejora continua de la calidad de la telemedicina; se debe incluir documentación, análisis y difusión.
5. Los beneficios sociales de la telemedicina contribuyen a la salud de las comunidades y al desarrollo humano, y son objetivos importantes para sí mismos.

Resumiendo esta sección, cuando hablamos de e-Salud, debemos centrarnos en la parte humana, y existen varios factores que van a influenciar para que se puedan generar políticas públicas, guías clínicas, estándares en salud, etc.

## **2.3. Perspectiva desde la Ciencia de la Complejidad**

### **2.3.1. Sistemas complejos**

Un sistema complejo está compuesto por varias partes interconectadas o entrelazadas, cuyos vínculos crean información adicional no visible antes por el observador y tienen la característica de ser adaptativos ya que tienen la capacidad de alterar o cambiar a partir de un aprendizaje con la experiencia. Por mencionar algunos ejemplos de sistemas complejos se puede mencionar a los mercados de valores, el cuerpo humano, los órganos y células, los árboles, y los hospitales, entre otros. "Complejo" implica diversidad ya que existe una amplia variedad de elementos, y "sistema" hace referencia a un conjunto de cosas conectadas o interdependientes entre sí. Los agentes dentro del sistema pueden ser personas, órganos o moléculas, entre muchos otros. Estos agentes actúan basados en su conocimiento previo y las condiciones del contexto en el que les toca existir. Por ende, el sistema estará formado por diversos actores con un conocimiento propio, interconectados entre sí y cada cual actuará de manera independiente pero influenciado por los demás actores y su contexto.

Es por esto que generalmente los procesos en los que se quiere poner como objeto de estudio a humanos son referidos como sistemas complejos. Los procesos son especialmente estudiados con el propósito de modelar, simular y controlar el objetivo del proceso, para beneficio del ser humano. Cuando

se quiere realizar la gestión de un sistema, es necesario incluir actividades como diagnóstico, clasificación y reconocimiento. La complejidad es una característica versátil de sistemas existentes que no pueden ser descritos por una simple definición. La complejidad está asociada, usualmente con el número de atributos como ser, no-linealidad, incertidumbre, dimensionalidad y estructura, los cuales hacen más difícil el manejo del sistema y sus atributos (Kannampallil, Schauer, Cohen, & Patel, 2011).

### **2.3.2. Salud y Sistemas complejos**

Algunos trabajos dentro la literatura han explicado la importancia de tener una visión a partir de la complejidad para gestionar y administrar los cuidados en salud (Kannampallil et al., 2011; Paley & Eva, 2011). Con mayor razón, cuando se hace referencia a procesos e intervenciones de e-Salud no se puede dejar de lado las necesidades del usuario ni el contexto en el que se desenvuelve; la e-Salud no puede ser conceptualizada sólo como infraestructura de equipos, ya que un abordaje integral puede incrementar su efectividad e impacto social.

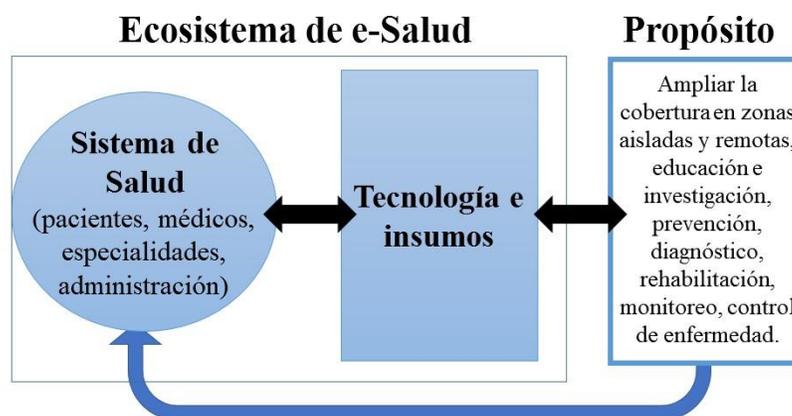
La e-Salud constituye un sistema abierto donde la interacción e interdependencia de los elementos tecnológicos, socioculturales y económicos, juegan un papel clave en la caracterización de este ecosistema. El presente trabajo considera importante acudir a la Ciencia de la Complejidad, la cual ofrece una perspectiva que ayuda a entender cómo se interrelacionan los contextos sociales, económicos y políticos. Ayuda a la vez a observar cómo los sistemas socio-técnicos, de los cuales es parte la gente, no son mecánicos ni evidentes, sino impredecibles, se cuenta con procesos de retroalimentación, surgimiento (emergencia) e interdependencia y auto-organización, los cuales son atributos característicos de la dinámica de los sistemas complejos. Así mismo, una perspectiva desde la complejidad puede extraer nuevos hallazgos rumbo a la conformación de un marco de referencia que involucre a los actores de mayor relevancia, así como los diferentes niveles de gestión que intervienen en la dinámica del sistema (Castañares-Maddox, 2009; García, 2006).

Al introducir la complejidad como propuesta de análisis de la e-Salud como sistema, se conceptualiza el pensamiento complejo alrededor del dicho sistema socio-técnico como un corpus de ideas coherentemente conectadas, que permiten observar un corte de la realidad del funcionamiento en el sistema que permita, a su vez, entender los cambios y las interrelaciones de los subsistemas y agentes involucrados (Morin & Pakman, 1994). Un sistema complejo es difícil de desintegrar dado que sus

características colectivas no pueden ser previstas en su totalidad a partir de sus componentes individuales. La interconectividad es la esencia de los sistemas complejos; es decir, estos sistemas comprenden una red de nodos interconectados cuyas interacciones definen su naturaleza (Liu, Slotine, & Barabasi, 2013). Un entorno se “complejiza” cuando existen diferentes subsistemas que interactúan de tal forma que el total adquiere una naturaleza por sí mismo, se adapta y se desempeña en respuesta a condiciones cambiantes y en donde nuevas estructuras con nuevas propiedades surgen como resultado de la interacción de sus componentes (Axelrod & Cohen, 2000).

En cuanto al estado del arte, en los avances recientes de e-Salud convergen diferentes disciplinas tales como Genómica, Inteligencia Artificial, Nano y Bio-tecnología, de tal forma que nuestra propuesta de estudiar la e-Salud desde una perspectiva integral, puede dar pie a conocer a mayor profundidad las implicaciones socioeconómicas, regulatorias y normativas de las tecnologías que emergerán de la confluencia de los esfuerzos de innovación y desarrollo impulsados por el acelerado cambio tecnológico (Sharp & Hockfield, 2017).

En la conjugación práctica de los anteriores planteamientos se asume un acoplamiento entre individuos y la tecnología, y entre los individuos con mediación de la tecnología para producir intercambio de información, que a su vez da lugar a cambios de patrones y procesos en la sociedad y en el ecosistema de e-Salud con el objeto de cumplir con su propósito (ver Figura 15). En esta perspectiva, las interacciones de pacientes, especialistas médicos, administradores y tomadores de decisión del entorno socioeconómico y cultural utilizan la tecnología como medio para llegar a diversos objetivos como son: ampliar la cobertura en zonas aisladas y remotas, educación e investigación, prevención, diagnóstico, rehabilitación, monitoreo, etc.



**Figura 15.** Propósito de e-Salud

De la misma forma, los aspectos de convergencia e interdisciplina adquieren relevancia en torno al trabajo colaborativo que la e-Salud exige para su estudio y tratamiento integral. Se propone entonces que el abordaje de un problema o conjunto de problemas sobre e-Salud se lleve a cabo en un enfoque interdisciplinario, que consiste en un proceso de responder a preguntas para resolver un problema o estudiar un tópico, o como Rolando García plantea: “para pensar diferente alrededor de la solución de un problema”. Es decir, la interdisciplina se da en la forma en que se aborda el problema, no por el número o tipo de disciplinas que los miembros de un equipo de trabajo dominen, i.e., se requiere la coordinación de los enfoques disciplinarios para integrarlos en un enfoque común (García, 2006; Klein, 2004). En suma, la interdisciplina se concibe, para propósitos de la presente exploración, como un proceso más que como un producto.

### **2.3.3. Ecosistema**

El término ecosistema hace referencia a una comunidad integrada por un conjunto de seres vivos interrelacionados y por el medio que habitan. Para el caso de las telecomunicaciones, Rehman en (Rehman Laghari & Connelly, 2012), define un ecosistema de telecomunicaciones como: “la interacción sistemática de seres vivos (Humanos) y no vivos (Tecnología y economía) en un contexto en particular”. En cualquier tipo de ecosistema, el ciclo de vida del mismo va a depender de cómo interactúan entre los diferentes subsistemas dentro el mismo.

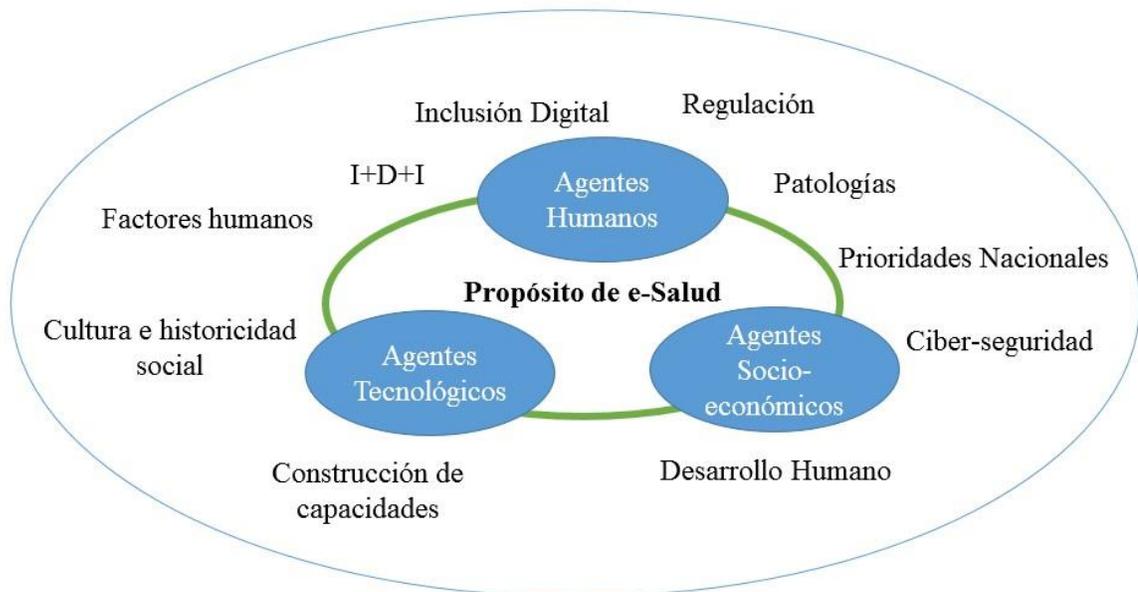
En (Shehadi, Tohme, Bitar, & Kutty, 2011) se menciona que las causas de fracaso en sistemas de e-Salud se dan, por lo general, por no tomar en cuenta todos los elementos involucrados. Es por eso que estos autores sugieren que es clave realizar un análisis del ecosistema, en este caso toman en cuenta algunos elementos como: Políticas de gobernanza, aspectos regulatorios, modelos financieros, infraestructura tecnológica, servicios y agentes involucrados. Por lo que un ecosistema de e-Salud es capaz de reflejar en forma integral la situación socio-económica del lugar en el que sea implementado.

Watts (Watts, 2003) sugiere a la complejidad como una opción pertinente para entender los sistemas en salud. Es decir, se debe entender que un ecosistema en salud esta anidado a otros ecosistemas. Es así que vemos la importancia de plantear un ecosistemas de e-Salud antes de empezar a hablar de la implementación de un proyecto, ya que como menciona (Rehman Laghari & Connelly, 2012), mediante un correcto planteamiento del ecosistema vamos a poder determinar el tiempo de vida de un

proyecto, además de intentar que sea autosustentable y usar a diferentes elementos a favor del ser humano. Se puede considerar adicionalmente que el proyecto va a evolucionar conforme pase el tiempo en función del eventual cambio en el desempeño de sus actores.

La Figura 16 muestra nuestra una propuesta de elementos de un ecosistema de e-Salud, el cual identifica tres agentes importantes dentro del mismo: el humano, el socio-económico y el tecnológico (Rojas-Mendizabal, Serrano-Santoyo, Conte-Galvan, & Gomez-Gonzalez, 2013). Los agentes humanos hacen referencia a todas las personas involucradas en un servicio de e-Salud, es decir, médicos, pacientes, personal administrativo, tomadores de decisiones, entre otros. Cada una de estas personas juega un papel importante dentro del ecosistema ya que, dependiendo de sus habilidades, necesidades y otros factores, van a dar la pauta de lo que se requiere para la elaboración de un proyecto. Los agentes tecnológicos se refieren a los diferentes dispositivos biomédicos, programas informáticos aplicados a la salud, los medios de transmisión y almacenamiento de información, entre otros. Estos son los insumos necesarios para mejorar un servicio de salud, son un medio por el cual se puede hacer que los agentes humanos puedan obtener y brindar, según sea el caso, un servicio más eficiente. Los agentes socioeconómicos contemplan los recursos económicos con los que se cuentan y el tipo de enfoque que se le va a dar a cierto proyecto.

Los agentes propuestos van a estar influenciados y relacionados por diferentes factores como son las estrategias de Investigación+Desarrollo+Innovación (I+D+I), los factores humanos, la inclusión digital, la regulación, las patologías del contexto, la cultura e historicidad social, las prioridades nacionales, la ciber-seguridad, la construcción de habilidades y el grado de desarrollo humano del contexto. En la siguiente sección se ahondará sobre las interacciones de los agentes en los niveles operativo, táctico y estratégico para el caso de tele-diagnóstico.



**Figura 16.** Elementos del Ecosistema de e-Salud

## 2.4. Simulación de sistemas complejos

La simulación puede ser un medio particularmente productivo para aplicar la ciencia de la complejidad a preguntas de investigación de las ciencias de la salud. Existen tres grandes categorías (Paley & Eva, 2011):

- Simulaciones que abarcan solamente interacciones humanas,
- Simulaciones en que los humanos interactúan con una computadora,
- Simulaciones involucrando un sistema completamente computarizado.

En todos los casos, los teóricos tienen en mente un sistema complejo, y desean explorar lo que podría suceder cuando las variables del sistema son sistemáticamente variadas.

La simulación de sistemas, por lo tanto, está preparada para

- Capturar los comportamientos relevantes del sistema
- Controlar todo lo posible las variables extrañas,

La validez de la simulación depende de los supuestos que se hagan para simplificar la simulación, y de las reglas que se escojan para representar acción, sentido, y toma de decisiones, dentro de la simulación.

La eficacia de la gestión del sistema depende de la forma en que las salidas de un sistema están influenciadas por sus entradas. Estas influencias pueden ser descritas por asignaciones funcionales no lineales que usualmente se denominan no linealidad. Este último representa un serio desafío a la gestión del sistema debido a las dificultades en el manejo de asignaciones no lineales para el modelado, simulación y control. Otro factor que influye en la eficacia de la gestión del sistema es la forma en que se tiene en cuenta la dimensionalidad. Cuanto mayor sea el número de insumos en un sistema, más difícil será tratarlo debido a problemas potenciales en situaciones de tiempo. Tales problemas pueden comprometer la fiabilidad del sistema, ya que puede no ser posible obtener una solución dentro de las escalas de tiempo razonables (Gegov, 2010).

Entre los tipos de simulación que se usan para simular sistemas complejos están las técnicas de inteligencia artificial, las cuales pueden ser aplicadas varios campos del conocimiento humano.

#### **2.4.1. Sistemas difusos**

En general, la lógica difusa ha demostrado ser una poderosa herramienta para tratar con la no linealidad y la incertidumbre. En este contexto, el concepto de difusión es muy adecuado para aproximar la no linealidad fuerte en términos de asignaciones funcionales no lineales y no analíticas entre entradas y salidas del sistema. La nebulosidad es también muy adecuada para reflejar la incertidumbre no probabilística, como la imprecisión y la ambigüedad (Gegov, 2010). La Lógica Difusa proporciona un mecanismo de inferencia que permite simular los procedimientos de razonamiento humano en sistemas basados en el conocimiento. La teoría de la lógica difusa proporciona un marco matemático que permite modelar la incertidumbre de los procesos cognitivos humanos de forma que pueda ser tratable por un computador.

Los sistemas difusos proponen cálculos matemáticos para transformar el conocimiento humano subjetivo de los procesos reales. Mediante esta forma se puede manipular el conocimiento con algún nivel de incerteza. La teoría difusa fue iniciada por Lofti Zadeh en 1965. Los comportamientos de algunos

sistemas son descritos a través de reglas difusas como el *IF THEN*, que usa variables lingüísticas con términos simbólicos. Cada término representa un comportamiento difuso. Las entradas componen la partición difusa. Los mecanismos de entrada consisten de 3 etapas: la primera etapa, los valores de entrada numéricos son ingresados por una función de acuerdo con la etapa de compatibilidad de las respectivas formas difusas, esta operación se denomina “fuzzificación”. En la segunda etapa, el sistema difuso procesa las reglas del sistema de acuerdo a los valores de entrada. En la tercera etapa, los resultados de los valores difusos resultantes se transforman de nuevo en valores numéricos esta etapa es denominada “defuzzificación”.

Esencialmente, este proceso hace posible el uso de las categorías difusas en representación de palabras e ideas abstractas del comportamiento humano en la descripción del proceso de toma de decisiones. Las ventajas de los sistemas difusos son:

- La capacidad para representar incertidumbres relacionadas al conocimiento humano con variables lingüísticas.
- Simple interacción del experto del dominio con el ingeniero en diseño del sistema.
- Fácil interpretación de resultados, debido a la representación de las reglas naturales.
- Fácil extensión del uso del conocimiento a través de la implementación de nuevas reglas.
- Solidez en relación a posibles perturbaciones en el sistema.

Mientras que sus desventajas son:

- Es incapaz de generalizar, ya que sólo responde a lo que está escrito en sus reglas básicas
- No tiene solidez en relación al cambio topológico del sistema, ya que tales cambios pueden requerir alteraciones en las reglas base.
- Depende de la existencia de un experto para determinar las reglas de inferencia lógica.

La lógica difusa opera matemáticamente con variables lingüísticas, una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o artificial. De esta forma, una variable lingüística sirve para representar cualquier elemento que sea demasiado complejo, o del cual no tengamos una definición concreta; es decir, lo que no podemos describir en términos numéricos.

Así, una variable lingüística está caracterizada por una quintupla formada por:

- El nombre de la variable.
- El conjunto de términos de la variable; es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas).
- El universo del discurso (o dominio subyacente). Por ejemplo, si la hablamos de temperatura “Cálida” o “Aproximadamente 25°”, el dominio subyacente es un dominio numérico (los grados centígrados).
- Una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos, como podrían ser “muy alto”, “no muy bajo”, ...
- Una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de variables y su significado denota un subconjunto difuso.

Por otro lado, los símbolos terminales de las gramáticas incluyen:

- Términos primarios: “bajo”, “alto”, ...
- Modificadores: “Muy”, “más”, “menos”, “cerca de”, ...
- Conectores lógicos: Normalmente NOT, AND y OR.

Normalmente se definen los conjuntos difusos de los términos primarios y, a partir de éstos, se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos (por ejemplo, con “muy” y “alto” construimos el término compuesto “muy alto”). Una etiqueta lingüística se forma como una sucesión de los símbolos terminales de la gramática: “Muy alto, no muy bajo...”.

#### **2.4.2. Redes neuronales**

En las última década las Redes Neuronales Artificiales han recibido un interés particular como una tecnología para minería de datos, puesto que ofrece los medios para modelar de manera efectiva y eficiente problemas grandes y complejos. Los modelos de Redes Neuronales son dirigidos a partir de los datos, es decir, son capaces de encontrar relaciones (patrones) de forma inductiva por medio de

los algoritmos de aprendizaje basado en los datos existentes más que requerir la ayuda de un modelador para especificar la forma funcional y sus interacciones.

Las Redes Neuronales son un método de resolver problemas, de forma individual o combinadas con otros métodos, para aquellas tareas de clasificación, identificación, diagnóstico, optimización o predicción en las que el balance datos/conocimiento se inclina hacia los datos y donde, adicionalmente, puede haber la necesidad de aprendizaje en tiempo de ejecución y de cierta tolerancia a fallos. En estos casos las Redes Neuronales se adaptan dinámicamente reajustando constantemente los “pesos” de sus interconexiones.

Éstas Redes se basan en la analogía que existe en el comportamiento y función del cerebro humano, en particular del sistema nervioso, el cual está compuesto por redes de neuronas biológicas que poseen bajas capacidades de procesamiento, sin embargo toda su capacidad cognitiva se sustenta en la conectividad de éstas. La unidad de una red neuronal artificial es un procesador elemental llamado neurona que posee la capacidad limitada de calcular, en general, una suma ponderada de sus entradas y luego le aplica una función de activación para obtener una señal que será transmitida a la próxima neurona. Estas neuronas artificiales se agrupan en capas o niveles y poseen un alto grado de conectividad entre ellas, conectividad que es ponderada por los pesos. A través de un algoritmo de aprendizaje supervisado o no supervisado, las Redes Neuronales ajustan su arquitectura y parámetros de manera de poder minimizar alguna función de error que indique el grado de ajuste a los datos y la capacidad de generalización de las mismas.

Las ventajas de las redes neuronales son:

- Capacidad de aprendizaje,
- Capacidad de generalización
- Solidez en relación a perturbaciones del sistema.

Y las desventajas son:

- La imposible interpretación de la funcionalidad
- La dificultad para determinar el número de capas y el número de neuronas.

### 2.4.3. Sistemas neuro-difusos

Desde el momento en que los sistemas difusos se hicieron populares en aplicaciones industriales, la comunidad percibió que el desarrollo de sistemas difusos con un gran rendimiento no es una tarea fácil. El problema encontrado en las funciones de membresía y las reglas apropiadas frecuentemente es un proceso de prueba y error. Esto recae en la idea de aplicar algoritmos de conocimiento en los sistemas difusos. Las redes neuronales, que tienen algoritmos de aprendizaje eficientes, se presentaron como alternativa para autómatas o para soportar el desarrollo de sistemas difusos optimizados. Los primeros estudios de sistemas neuro-difusos empezaron en la década de los 90's, con Jang, Lin and Lee en 1991, Berenji en 1992 y Nauck desde 1993, etc. La mayoría de las aplicaciones son en control procesado. Gradualmente, estas aplicaciones se derivaron a muchas áreas de conocimiento como el análisis de datos, clasificación de datos, detección de imperfecciones y soporte para la toma de decisiones, etc. Las redes neuronales y sistemas de lógica difusa pueden ser combinados para unir sus ventajas y curar sus desventajas individuales. Las redes neuronales introducen características de aprendizaje en sistemas difusos y reciben de ellos una interpretación y claridad de la representación de sistemas. Las desventajas de los sistemas difusos son compensadas con las capacidades de las redes neuronales. Estas técnicas son complementarias, por lo que se justifica su uso junto.

Las técnicas de inteligencia artificial basada en lógica difusa y redes neuronales por lo general se aplican juntas, con el objeto de combinar ambos paradigmas es cubrir deficiencias de ambas por separado.

Por lo general, cuando se les combina, son denominadas redes Neuro-Difusas. Este término es usado para asignar un Sistema que integra ambas técnicas. Este tipo de sistemas se caracteriza por un sistema difuso, donde las reglas y funciones de membresía se ajustan usando patrones de salida. Existen diferentes tipos de implementación ya que cada autor define su propio modelo. A continuación, se explican algunas técnicas de redes neuro-difusas.

Se creó cierta confusión debido a que se combinaron ambas técnicas, pero se podría definir el término neuro-difuso como un sistema caracterizado por una estructura similar a un controlador difuso, donde las funciones de membresía son ajustadas usando técnicas de redes neuronales, en base a datos de entrada y de salida.

Algunos sistemas muestran dos formas distintas de comportamiento: en la primera fase, denominada fase de entrenamiento, se comportan como redes neuronales que conocen sus parámetros

internos. Después en la fase de ejecución, se comportan como un sistema de lógica difusa. Cada una de estas técnicas tiene ventajas y desventajas que al juntarlas proveen mejores resultados.

#### **2.4.4. Sistema de inferencia Neuro-difusa adaptativa (ANFIS)**

Un sistema de inferencia neuro-difuso adaptativo (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) es un sistema difuso cuyos parámetros de función de pertenencia han sido ajustados utilizando métodos de aprendizaje neuro-adaptativos similares a los utilizados en la formación de redes neuronales. El software Fuzzy Logic Toolbox proporciona funciones de línea de comandos y una aplicación para el entrenamiento de sistemas de inferencia fuzzy tipo Sugeno utilizando datos de entrenamiento de entrada / salida ("Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling - MATLAB & Simulink," 2017).

Éste es un método que permite sintonizar o crear la base de reglas de un sistema difuso, utilizando el algoritmo de entrenamiento de retro propagación a partir de la recopilación de datos de un proceso. Su arquitectura es funcionalmente equivalente a una base de reglas tipo Sugeno.

Las capacidades adaptivas de las redes ANFIS las hacen directamente aplicables a una gran cantidad de áreas como la sintonización automatizada de los controladores difusos, en el modelamiento donde se necesita explicar datos pasados y predecir datos futuros, en control adaptativo, en procesamiento y filtrado de señales, en clasificación de datos y extracción de características a partir de ejemplos, entre otros.

Un sistema ANFIS engloba las mejores características de los sistemas difusos y de las redes neuronales. De los primeros utiliza la representación del conocimiento previo en un conjunto de restricciones (que se representan en la topología de la red) para reducir el espacio de búsqueda de optimización, mientras que de las redes neuronales emplean la adaptación de propagación inversa a la red estructurada para automatizar el ajuste de los parámetros.

La parte de la premisa de una regla define un subespacio difuso, mientras que el consecuente especifica la salida dentro de ese subespacio.

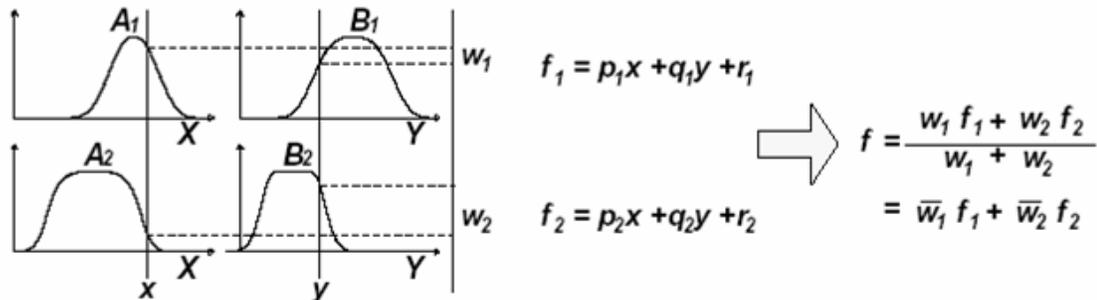
La estructura de los sistemas ANFIS permite utilizar métodos cualitativos y cuantitativos en la construcción de modelos. Además, permite integrar, a la información incluida dentro de un conjunto de

datos, el conocimiento de expertos expresados en forma lingüística y a través de la teoría de conjuntos difusos.

El razonamiento ANFIS es mostrado en la Figura 17. Este sistema híbrido neuro-difuso es funcionalmente equivalente al mecanismo de inferencia Takagi-Sugeno (T-S) de primer orden.

Regla 1: Si  $x$  es  $A_1$  and  $y$  es  $B_1$ , entonces  $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

Regla 2: Si  $x$  es  $A_2$  and  $y$  es  $B_2$ , entonces  $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$



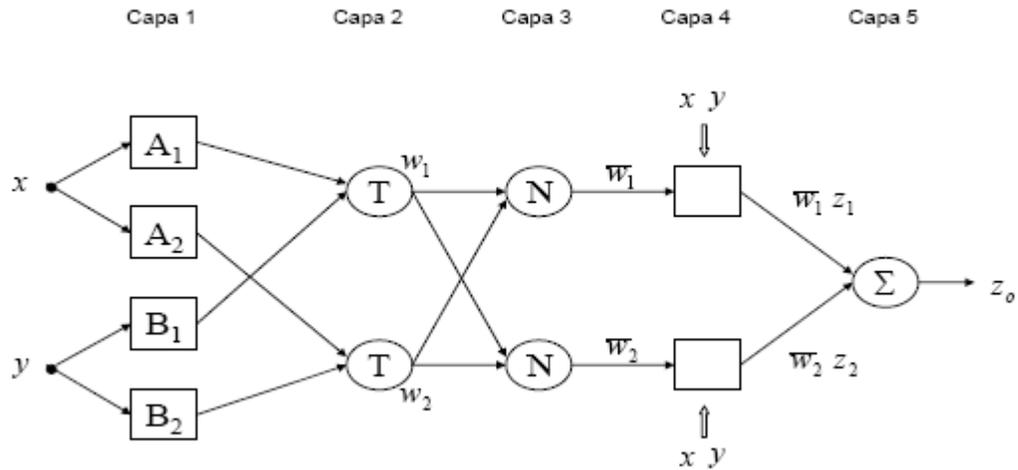
**Figura 17:** Razonamiento ANFIS

Donde  $A_1, A_2, B_1, B_2$  son funciones de pertenencias (Conjuntos difusos)

Los niveles de activación de las reglas se calculan como  $w_i = A_i(x) \cdot B_i(y)$ ,  $i=1,2,\dots$ , donde el operador lógico and puede ser modelado por una t-norma continua (producto). Las salidas individuales de cada regla son obtenidas como una combinación lineal entre los parámetros del antecedente de cada regla:  $f_i = p_i x + q_i y + r_i$ ,  $i=1,2,\dots$ . La salida de control del modelo se obtiene por la normalización de los grados de activación de las reglas por la salida individual de cada regla:

$\bar{w}_1$  y  $\bar{w}_2$  son los valores normalizados de  $w_1$  y  $w_2$  y con respecto a la suma  $w_1 + w_2$ . La red neuronal híbrida que representa este tipo de inferencia es una red adaptable con 5 capas, donde cada capa representa una operación del mecanismo de inferencia difuso. Esta red se muestra en la Figura 17.

En esta arquitectura, todos los nodos de una misma capa tienen la misma función (los nodos representados con cuadros son nodos adaptables, es decir, sus parámetros son ajustables). La estructura de la red ANFIS consiste de cinco capas.



**Figura 18:** Red adaptiva equivalente ANFIS

**Capa 1:** Las entradas en esta capa corresponden a las entradas  $x$  y  $y$ , y la salida del nodo es el grado de pertenencia para el cual la variable de entrada satisface el término lingüístico asociado a este nodo.

$$O_i^1 = A_i(x)$$

**Capa 2:** Cada nodo calcula el grado de activación de la regla asociada a dicho nodo. Ambos nodos están representados con una T en Figura 18, por el hecho de que ellos pueden representar cualquier t-norma para modelar la operación lógica and. Los nodos de esta capa son conocidos como nodos de reglas.

$$O_i^2 = w_i = A_i(x) \cdot B_i(y), i = 1, 2, \dots$$

**Capa 3:** Cada nodo en esta capa está representado por una N en la Figura 18, para indicar la normalización de los grados de activación. La salida del nodo es el grado de activación normalizado (con respecto a la suma de los grados de activación) de la regla.

$$O_i^3 = \bar{w}_i \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2$$

**Capa 4:** La salida de los nodos corresponde al producto entre el grado de activación normalizado por la salida individual de cada regla.

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i x + r_i)$$

$p_i, q_i, r_i$  y forman el conjunto de parámetros. Los parámetros de esta capa se conocen como parámetros del consecuente.

Esos parámetros, como se puede ver, son los coeficientes de las funciones lineales que forman el consecuente de las reglas. Son parámetros ajustables, como los de la capa 1.

**Capa 5:** El único nodo de esta capa calcula la salida total del sistema (agregación) como la suma de todas las entradas individuales de este nodo.

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

En resumen, cada una de las capas tiene una misión concreta dentro del sistema:

- La primera capa representa la capa de pertenencia.
- La segunda capa se usa para generar el grado de disparo de la regla (T-norma)
- La tercera capa actúa de normalizador.
- La cuarta capa calcula la salida
- La última capa combina todas las salidas en una en su único nodo.

El modelo ANFIS tiene dos conjuntos de parámetros que deben ser entrenados: los parámetros del antecedente (constantes que caracterizan las funciones de pertenencia) y los parámetros del consecuente (parámetros lineales de la salida del modelo de inferencia).

El paradigma de aprendizaje del modelo ANFIS emplea algoritmos de gradiente descendiente para optimizar los parámetros del antecedente y el algoritmo de mínimos cuadrados para determinar los parámetros lineales del consecuente. Debido a esta combinación se lo conoce como regla de aprendizaje híbrido.

Una vez identificados los parámetros del consecuente, el error es calculado como la diferencia entre la salida de la red y la salida deseada presentada en los pares de entrenamiento. Una de las medidas más usadas para el error de entrenamiento es la suma de errores cuadráticos, definida como:

$$EMC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Los  $y_i$  corresponden a los patrones de entrenamiento proporcionados (salidas deseadas) y  $\hat{y}_i$  es la correspondiente salida de la red. En el paso backward, las señales de error son propagadas desde la salida, en dirección de las entradas; el vector gradiente es acumulado para cada dato de entrenamiento. Al final del paso backward para todos los datos de entrenamiento, los parámetros en la capa 1 (parámetros de las funciones de pertenencia) son actualizados por el método descendente

Esto constituye la forma más corriente de entrenar un sistema ANFIS, pero de hecho, hay 4 métodos de actualización de parámetros que según sus complejidades son:

- Sólo gradiente descendente: Todos los parámetros se actualizan por esta técnica.
- Gradiente descendente y un paso de mínimos cuadrados: Sólo se aplican una vez al principio los mínimos cuadrados, para obtener los valores iniciales de los parámetros del consecuente y luego se utiliza el gradiente descendente para actualizar todos los parámetros.
- Gradiente descendente y mínimos cuadrados: Es el entrenamiento híbrido que se ha descrito.
- Mínimos cuadrados sólo: Lineariza el ANFIS. Utiliza los parámetros de las premisas y el algoritmo del filtro de Kalman extendido para actualizar los parámetros.

Se debe elegir el método más adecuado en función de la complejidad de computación y de los resultados obtenidos. En general, el método de mínimos cuadrados suele llevar una mayor computación que el gradiente descendente.

## Capítulo 3. Metodología

---

La metodología empleada en el desarrollo de este trabajo de investigación, consiste de los siguientes pasos:

1. Planteamiento del problema e hipótesis.
2. Revisión de literatura y del estado del arte sobre e-Salud, QoE y Sistemas Complejos.
3. Estudio del ecosistema de e-Salud.
4. Plantear un marco de referencia para intervenciones de e-Salud.
5. Seleccionar un caso de intervención en e-Salud.
6. Simulación del escenario estudiado.
7. Proponer una alternativa de abordaje a intervenciones de e-Salud.

### 3.1. Aspectos metodológicos a considerar en el desarrollo del trabajo de tesis

El presente trabajo propone un marco de referencia para estimar el valor de QoE en intervenciones de e-Salud. Dicho marco de referencia puede ser de interés para operadores de red, diseñadores de equipos, proveedores de servicio y profesionales en salud que intentan diseñar dispositivos, sistemas o servicios de e-Salud.

La naturaleza compleja de e-Salud y de QoE es evidente debido a en ambos casos se llevan a cabo interacciones entre ser humano y tecnología. Una perspectiva desde la ciencia de la complejidad permite observar un corte de la realidad en el funcionamiento de los sistema, además de apoyar el estudio de los cambios e interacciones dentro del ecosistema involucrado (Morin & Pakman, 2011). El estudiar bajo los principios de los sistemas complejos la e-Salud, ofrece una alternativa de análisis para el entendimiento de las interacciones entre pacientes, médicos y otros profesionales relacionados a la salud dentro de los diversos contextos sociales, políticos, tecnológicos, económicos.

El comportamiento multifactorial de la e-Salud y la interacción entre sus componentes admite su conceptualización como un sistema socio-técnico y a la vez complejo, dinámico y adaptivo en el cual se hace necesario romper con patrones paradigmáticos que solo enfocan en el lado tecnológico del sistema (Axelrod & Cohen, 2000).

Para el planteamiento del marco de referencia, se adoptó la propuesta de Rolando García para el proceso de construcción de la e-Salud como sistema complejo (García, 2006). Esta propuesta parte de narrar una historia para entender la dinámica del ecosistema de e-Salud y tener una base epistemológica sólida alrededor de la intervención (Paley & Eva, 2011). Con base a esta narrativa se genera una tabla de construcción sistémica la cual describe la condición observada y la condición deseada. Esto quiere decir que se enlistan los aspectos observados y de interés del grupo de trabajo y las características a las que se quiera llegar dentro del proyecto o intervención de e-Salud. Como ejemplo, el Anexo A de este documento muestra una tabla de construcción sistémica de la condición observada y condición deseada para la implementación de Telemedicina en zonas desfavorecidas. Con base a la tabla de construcción sistémica se plantean preguntas conductoras, las cuales permiten llegar al objetivo plasmado en la condición deseada. Las preguntas conductoras son clave para plantear un plan de acción en las implementaciones de e-Salud. Este proceso está en constante retroalimentación, ya que cuando uno actúa sobre un ecosistema, éste se modifica.

La aplicación de la metodología propuesta, dio pie al desarrollo del marco de referencia propuesto, el cual permite sistematizar y observar de manera integral el escenario de intervención de e-Salud para evaluar QoE.

## Capítulo 4. Marco de Referencia para la estimación de QoE basado en el ecosistema de e-Salud

---

Con el objeto de lograr la integración entre los factores tecnológicos y humanos en intervenciones de e-Salud, se propone un marco de referencia mediante el cual sea posible estimar QoE para un contexto específico. La estimación de QoE depende de la interacción de los usuarios con la tecnología y las habilidades que éstos tengan para entender la misma. De ahí la importancia de conocer desde el inicio de la intervención la historia del espacio de estudio, incluyendo sus determinantes sociales, los cuales influyen en el proceso de adaptación de los usuarios con la tecnología. Este marco de referencia está compuesto de 6 pasos que se indican a continuación:

**Paso 1.** *Definir un escenario y objetivo de intervención de e-salud:* Para este paso es importante comprender las necesidades del contexto, así como historicidad y cómo ha ido evolucionando en el transcurso del tiempo. Como propone Martínez en (Martínez, 2001) es importante la generación de reportes y bases de datos relacionadas a proyectos sociales, de ese modo se cuenta con información para la implementación o mejora de más iniciativas y lograr un desarrollo en la calidad de vida dentro de una población. También es recomendable identificar los determinantes sociales que influyen en la salud de la región (ver Figura 13). En este paso, se arma una tabla de construcción sistémica como propone Rolando García (García, 2006), plasmando la observación e historicidad del contexto (condición observada); y las necesidades para lograr mejor calidad de vida en la región (condición deseada); y se generan preguntas de articulación relacionadas a cómo la implementación de tecnología puede transformar el entorno de una condición observada a una condición deseada. En este sentido, se pueden definir los tipos de servicio de e-Salud (servicio de teleconsulta, telediagnóstico, teleeducación, telemonitoreo, telecirugía, etc.) que se podrían implementar o re-orientar para mejorar la experiencia de los usuarios ante la tecnología. Como mencionan varios autores, para poder ver con otros ojos son necesarios los grupos multidisciplinarios. Sin duda, al tratarse de e-Salud, es imprescindible conocer el punto de vista del profesional en salud, ya que ellos tienen mayor conocimiento sobre requerimientos y limitaciones de cada los servicios ofrecidos, así como un mejor entendimiento de cómo se puede atacar las patologías mostradas en cada región. De esta manera, la e-Salud cumple con un propósito particular y no se enfoca en un desarrollo tecnológico sin sentido.

- **Paso 2.** *Identificar actores e interacciones dentro del escenario:* Después del primer paso, se tiene un panorama completo de la intervención de e-Salud que se desea implementar o mejorar.

Partiendo de esta tabla de construcción sistémica, se facilita la identificación de los actores involucrados y su interacción entre ellos y con el contexto. Kilkki explica que para evaluar QoE en sistemas de comunicaciones, van a presentarse factores humanos, tecnológicos y económicos (Kilkki, 2008); por ende, los actores que se identifican en el espacio de interés inmediato para evaluar QoE serán de naturaleza humana, tecnológica o económica.

- **Paso 3. Identificar las variables a utilizar:** las variables a utilizar tienen que ver con los atributos y comportamiento que describan a los actores. Las simulaciones basadas en agentes (ABS, por sus siglas en inglés) recomiendan describir para cada actor los atributos relevantes y las reglas de comportamiento como respuesta a diferentes estímulos; esta descripción aporta a comprender la interacción entre los actores, ya que el flujo de información entre los actores generará una respuesta en el sistema. Para el caso de la e-Salud, en forma general puede ser que los actores sean médicos, pacientes, dispositivos, software y red de comunicación.
- **Paso 4. Aplicación de encuesta y observación:** Para evaluar la percepción de usuario, la herramienta más común es la aplicación de encuestas. La recomendación en este paso, es que la herramienta de evaluación sea realizada en base a mesas de trabajo multidisciplinarias, para evitar caer en centrar el instrumento en un área de conocimiento específico. Entre algunos de los profesionales que se podrían involucrar en el desarrollo del instrumento en e-Salud son especialistas médicos, psicólogos, antropólogos, así como profesionales con conocimientos básicos de estadística y trabajo social. También es necesaria la participación de observadores en la evaluación, los cuales pongan especial atención en las actitudes, comportamientos y hábitos mostrados por los usuarios durante la intervención. Los observadores de preferencia deben estar familiarizados con la tabla de construcción sistémica para comprender mejor las respuestas por parte de los usuarios y deben tener la capacidad de involucrarse en el espacio de interés inmediato.
- **Paso 5. Análisis de los resultados de las encuestas y la observación:** después del proceso de observación y realización de encuestas, se cuenta con mayor conocimiento sobre e sobre la percepción alrededor de una intervención de e-Salud, y permite que se puedan entender con mayor claridad los flujos de información entre los diferentes actores. A partir de esta información se pueden utilizar diferentes herramientas de simulación para estimar la QoE de una intervención de e-Salud. Esta información es importante para la implementación o mejora de intervenciones

de e-Salud con el propósito de mejorar la calidad de vida de los usuarios y convirtiendo a la tecnología en un aliado.

- **Paso 6. Realizar mejoras pertinentes:** Los resultados obtenidos en la simulación, contribuyen a que se puedan generar escenarios que conduzcan a la mejora de la intervención. Esta información es importante para la implementación u optimización de intervenciones de e-Salud con el propósito de mejorar la calidad de vida de los usuarios y convirtiendo a la tecnología en un aliado.

Para la construcción del marco de referencia propuesto, se identifican parámetros para la estimación de QoE como se muestra en la Figura 19. El grado de usabilidad está definido por la efectividad y la eficiencia del dispositivo, el software y la conectividad. Cada servicio de e-Salud tiene diferentes atributos, por lo que el peso de los parámetros usados para la estimación de QoE va a variar según sea el caso de estudio. Por ejemplo, para el envío de un archivo de radiografía vía Internet se requiere la descarga de datos en forma completa, por lo que el ancho de banda es una métrica importante. Sin embargo, el retardo y el *jitter*, aunque importantes también, no son parámetros críticos en este caso para lograr la descarga exitosa de dichos archivos. En cambio, si se va a realizar una teleconsulta en la cual se esté usando, por ejemplo, un dermatoscopio y una videoconferencia, el *jitter* y el retardo juegan un papel crítico, ya que pueden afectar significativamente la calidad de la comunicación, limitando al especialista médico la observación de ciertas características de la piel (Malindi, 2011; Nanda & Fernandes, 2007).

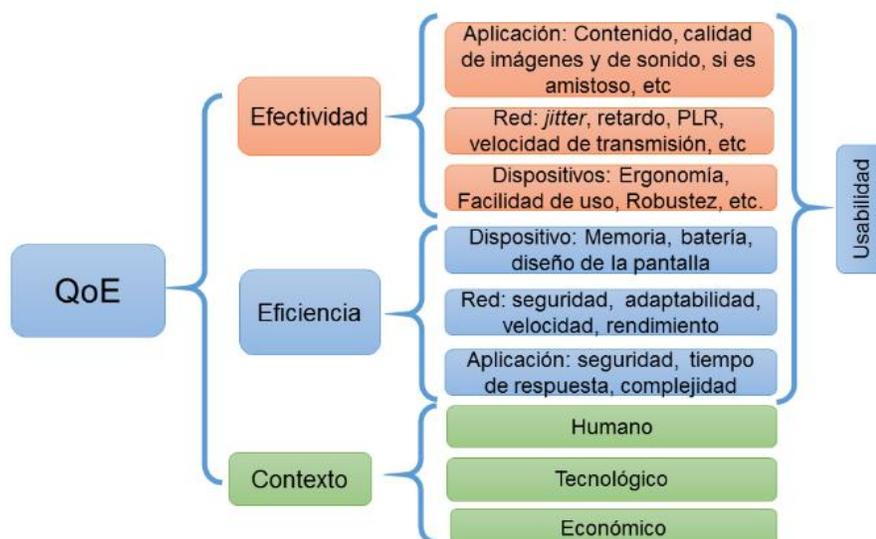


Figura 19. Parámetros involucrados en QoE

## 4.1. Ecosistema de e-Salud

Como se mencionó anteriormente, definir el ecosistema de e-Salud es importante, ya que éste determinará el ciclo de vida de los proyectos relacionados. También se conoce que la e-Salud tiene una gran cantidad de tipos de servicios para brindar así que el planteamiento del ecosistema y la identificación de actores estarán ligados al tipo de servicio que brinda. Partiendo de la concepción de Rehman, un ecosistema de telecomunicaciones va a estar definido por la interacción de seres vivos, es decir humanos y no vivos, para el autor, la tecnología y la economía en un contexto en particular (Rehman Laghari & Connelly, 2012). En base a esa concepción, la Figura 20 es una adaptación para el caso de la e-Salud, donde se pueden considerar dentro del contexto humano a médicos y pacientes (además de profesionales en salud); dentro del contexto tecnológico se pueden mencionar dispositivos, aplicaciones y redes de comunicación; y entre los actores económicos se pueden mencionar los entes financieros. Estos contextos se interconectan mediante algunos atributos que se generan a partir de la interacción entre los mismos.



**Figura 20.** Elementos de un ecosistema de e-Salud

Por ejemplo, cuando se trata de un monitoreo a deportistas, el ecosistema estará conformado por el deportista, el sensor que va midiendo ciertos parámetros vitales, el medio de transmisión por el cual llega la señal del dispositivo que se transmite hacia el médico, el médico o profesional en salud que recibe la alerta en caso de que el deportista esté en peligro y el equipo que recibe la alerta, ese se convierte en nuestro espacio de interés inmediato. Sin embargo, también existen otros factores contextuales que pueden influir en el ecosistema, como son los demás deportistas, el terreno en el cual se lleva a cabo la

actividad deportiva, las características y antecedentes del deportista, el grado de impacto del deporte realizado, entre otros factores.

## 4.2. Actores e Interacciones

Si bien no existe una definición específica de actor, se entiende que este término está reservado para componentes dentro de un sistema que pueden aprender de su entorno y cambiar dinámicamente sus comportamientos en respuesta a sus experiencias. Para intentar simular sistemas complejos, se debe considerar que los actores tendrán ciertas reglas base de comportamiento, así como comportamientos que lograrán cambiar reglas; las reglas base proporcionan respuesta al entorno mientras que el comportamiento ante las reglas proporcionarán adaptación. Dentro de la informática, se hace uso del término agente para referirse a los actores. Dentro de un sistema, es necesario que los agentes sean independientes y planificadores activos en lugar de componentes puramente pasivos (Macal & North, 2010). Cuando se intenta realizar una simulación, se considera que los agentes tienen ciertas propiedades y atributos:

- *Un agente es autónomo y auto-dirigido.* Un agente puede funcionar independientemente en su entorno y en sus interacciones con otros agentes, generalmente desde una gama limitada de situaciones que son de interés. Nos referimos a la conducta de un agente como la representación de un proceso que vincula la percepción del agente de su entorno con sus decisiones y acciones.
- *Los agentes son modulares o auto-contenidos.* Un agente es un individuo identificable, discreto con un conjunto de características o atributos, comportamientos y capacidad de toma de decisiones. Su naturaleza discreta implica que un agente tiene un límite en un sentido y se puede determinar fácilmente si algo (es decir, un elemento del estado del modelo) es parte de un agente, no es parte de un agente o es una característica compartida entre agentes.
- *Un agente es social, interactuando con otros agentes.* Los agentes tienen protocolos o mecanismos que describen cómo interactúan con otros agentes, así como un agente tiene comportamientos. Los protocolos comunes de interacción de agentes incluyen la contención de espacio y evitan colisiones; Agente de reconocimiento; Comunicación e intercambio de información; influencia; Y otros mecanismos específicos del dominio o de la aplicación.

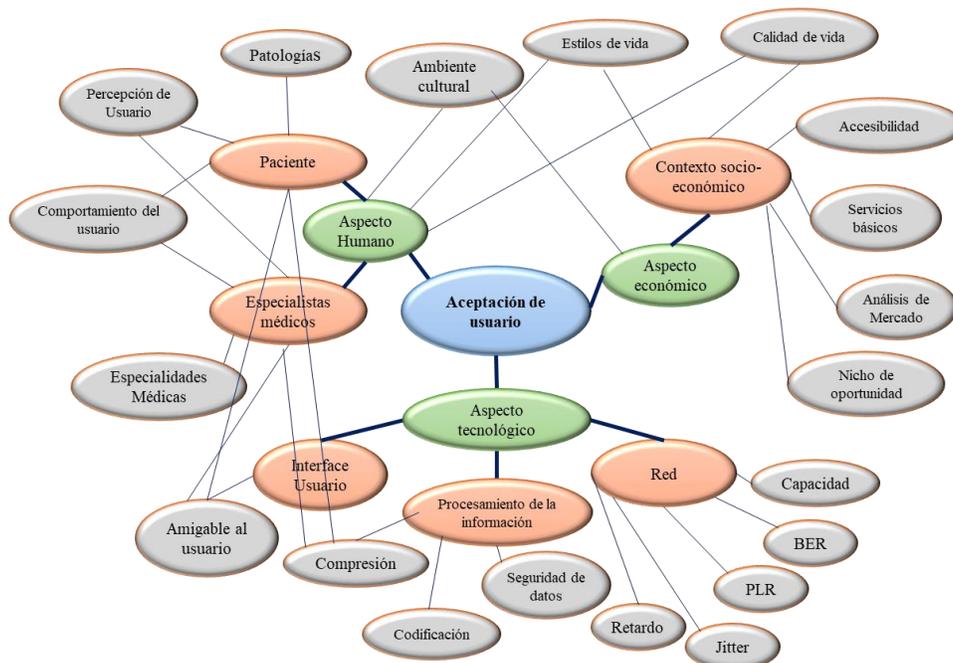
Los agentes suelen tener propiedades adicionales, que pueden o no ser consideradas como propiedades definitorias o necesarias.

- *Un agente puede vivir en un ambiente.* Los agentes interactúan con su entorno, así como con otros agentes. Un agente se sitúa, en el sentido de que su comportamiento es dependiente de la situación, lo que significa que su comportamiento se basa en el estado actual de sus interacciones con otros agentes y con el medio ambiente.
- *Un agente puede tener objetivos explícitos que impulsan su comportamiento.* Los objetivos no son necesariamente objetivos para maximizar tanto como criterios para evaluar la efectividad de sus decisiones y acciones. Esto permite a un agente comparar continuamente los resultados de sus comportamientos con sus objetivos y le da un punto de referencia para posiblemente modificarlo.
- *Un agente puede tener la capacidad de aprender y adaptar sus comportamientos basados en sus experiencias.* El aprendizaje individual y la adaptación requieren que un agente tenga memoria, generalmente en forma de un atributo de agente dinámico. (En contraste con la adaptación de la población, la proporción de individuos dentro de la población con ciertos atributos que mejor se adaptan a su entorno aumenta con el tiempo y los individuos no necesariamente cambian su comportamiento o se adaptan).
- Los agentes suelen tener atributos de recursos que indican su estado actual de uno o más recursos, por ejemplo, energía, riqueza, información, etc.

Como se mencionó desde un inicio, no se pueden definir actores, interacciones ni contexto si no se tiene un espacio de estudio definido, ya que cada servicio de e-Salud tiene diferentes características y diferentes objetivos, por este motivo es difícil generalizar a la definición de actores e interacciones para intervenciones de e-Salud. Ni siquiera se podría generalizar la implementación del mismo tipo de servicio en dos contextos totalmente diferentes, precisamente por la naturaleza compleja de las intervenciones.

La Figura 21 pretende ejemplificar a grandes rasgos algunos actores correspondientes a un servicio de tele-consulta. Los círculos rojos muestran los actores relacionados a aspectos humanos, tecnológicos y sociales. Los círculos grises representan algunas características de los actores que puedan representar un flujo de información entre actores y hacia el contexto. Este ejercicio puede aportar a visualizar a los actores

y relacionarlos entre sí, además de identificar los actores de mayor importancia para lograr un objetivo determinado.



**Figura 21.** Actores e interacciones de un sistema de e-Salud

El éxito de una intervención de e-Salud será el producto de la interacción entre agentes dentro de un escenario y su interacción con el contexto, por lo que pueden surgir propiedades y comportamientos no esperados y procesos de auto-organización y retroalimentación, atributos que denotan su naturaleza dinámica, adaptiva y compleja (Almeida-Filho, 2006; Anderson, 2005; Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) Global Science Forum, 2009; Ramis Andalia & Sotolongo Codina, 2009).

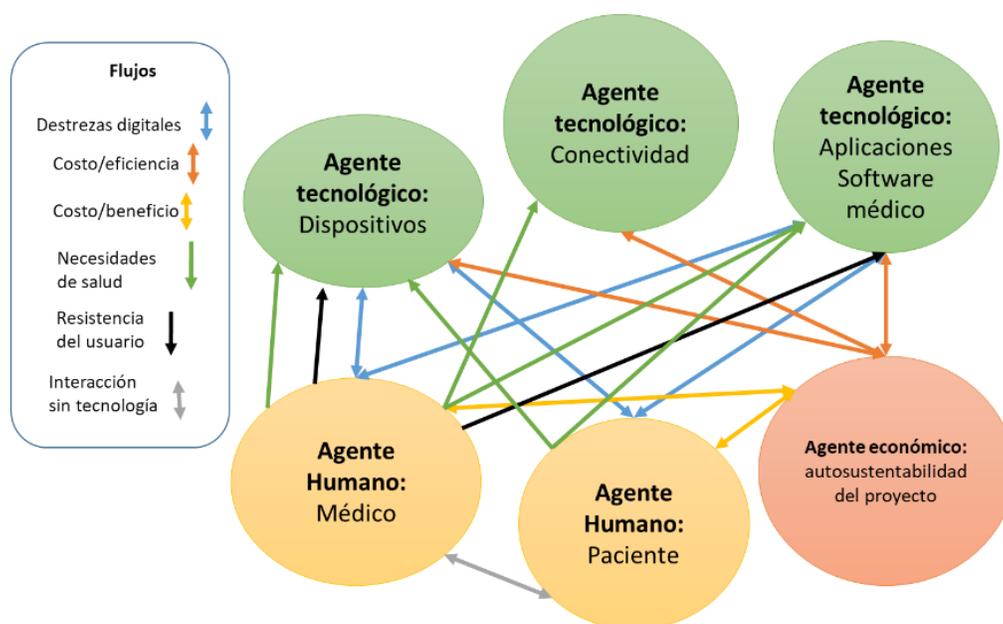
### 4.3. Atributos y reglas de comportamiento

Como se mencionó anteriormente, los actores tienen ciertos atributos y se siguen algunas reglas de comportamiento. Las reglas de comportamiento de un agente pueden variar en su sofisticación, cuánta información se considera en la decisión del agente (esto se conoce como carga cognitiva), los modelos

internos del agente del mundo externo incluyendo las posibles reacciones o comportamientos de otros agentes y el alcance de su memoria de sucesos pasados que un agente retiene y usa en sus decisiones. A menudo, los agentes en un modelo carecerán de adaptación porque no es para lograr el propósito del modelo. Por ejemplo, en un modelo de cadena de suministro puede no ser necesario modelar la adaptación del agente si el propósito del modelo es evaluar un conjunto de reglas de gestión de inventario específicas.

Para simular sistemas complejos, es importante observar las características de cada actor y la manera en la que encuentra bajo la influencia de otros actores. Los atributos hacen referencia.

Como se mencionó en el anterior apartado, no es posible definir reglas de comportamiento generales, ya que van a representar a cada actor y cada actor va a tener diferentes respuestas a estímulos. La Figura 22 pretende mostrar un ejemplo del planteamiento de los flujos de información entre los agentes, para de ese modo entender las reglas de comportamiento y poder realizar una simulación para evaluar QoE en intervenciones de e-Salud. Esta Figura 22 se realizó bajo el supuesto que se trataba de una intervención de teleconsulta, donde médicos en áreas rurales necesitan una segunda opinión antes de diagnosticar a sus pacientes.



**Figura 22.** Flujos de información entre actores

Partiendo del supuesto descrito en Figura 22, se plantearon algunos atributos y reglas de comportamiento asociadas a los actores (ver Tabla 6).

**Tabla 6.** Atributos y reglas de comportamiento de los actores

<p><b>Agente tecnológico:</b> Dispositivos  <b>Atributos:</b> Tipo de aplicación médica, portabilidad del dispositivo  <b>Reglas de comportamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maximizar la usabilidad</li> <li>• maximizar la facilidad de uso.</li> </ul>
<p><b>Agente tecnológico:</b> Conectividad  <b>Atributos:</b> tipo de tecnología de enlace, diferenciación del servicio, tipo de servicio de salud brindado a distancia.  <b>Reglas de comportamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• minimizar “Jitter”,</li> <li>• minimizar PLR,</li> <li>• minimizar BER,</li> <li>• maximizar caudal eficaz,</li> <li>• minimizar retardo</li> </ul>
<p><b>Agente tecnológico:</b> programática  <b>Atributos:</b> Seguridad, especialidad médica, grado de urgencia.  <b>Reglas de comportamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maximizar la usabilidad,</li> <li>• maximizar la facilidad de uso,</li> <li>• maximizar la adopción por parte del usuario</li> </ul>
<p><b>Agente Humano:</b> Médico  <b>Atributos:</b> Especialidad médica, historia de vida, nivel de atención, edad, habilidades digitales.  <b>Reglas de comportamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maximizar la confianza a la tecnología.</li> <li>• maximizar la facilidad de entendimiento frente a la tecnología</li> </ul>
<p><b>Agente Humano:</b> Paciente  <b>Atributos:</b> Patología, grado de urgencia del padecimiento, tipo de servicio de e-Salud, edad, historia de vida, habilidades digitales.  <b>Reglas de comportamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maximizar la confianza a la tecnología</li> <li>• maximizar la facilidad de uso de la tecnología</li> </ul>
<p><b>Agente económico:</b> auto sustentabilidad del proyecto.  <b>Atributos:</b> historicidad de la población, realidad social, infraestructura.  <b>Reglas de comportamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• minimizar costos de implementación y mantenimiento.</li> </ul>

El capítulo siguiente muestra un ejemplo de la implementación del marco de referencia propuesto.

## Capítulo 5. Estimación de QoE para una intervención de Telediagnóstico

---

### 5.1. Aplicación del Marco de Referencia en un Servicio de Telediagnóstico: Caso ultrasonido

Como ejercicio, se implementó el marco de referencia propuesto a un escenario concreto de telediagnóstico. La intervención de e-Salud está diseñada para operar en la selva de Guatemala, donde la mortalidad infantil es elevada y se registraron problemas en los partos. El proyecto fue implementado por la fundación: Enlace Hispano Americano de Salud (EHAS) y dicho proyecto que hace uso de un dispositivo de ecografía portátil (basado en una sonda USB unida a un ordenador alimentado por un panel solar enrollable) con el objetivo de brindar una atención a gestantes en zonas rurales (MARISHELL, 2012). La sonda de ultrasonido portátil puede ser conectada a cualquier computadora. Se pretendía lograr la transmisión de esta señal en tiempo real mediante un enlace satelital. El dispositivo cuenta con un software propietario el cual permite observar algunos parámetros de interés para ginecólogos.

La fundación EHAS utiliza las TIC para mejorar la atención de salud en zonas rurales y aisladas en países en desarrollo (EHAS, 2017). Dicha fundación pretende que la tecnología esté al servicio de las personas para llevar la salud en sitios desatendidos. Apuesta por la atención sanitaria desde los establecimientos de salud rurales, a los que se dota de los medios necesarios para disponer de telemedicina. Por lo que tienen como objetivo principal que las parteras de la zona rural se apropien de la tecnología y se les brindaba capacitación para ser técnicos en el uso de esa herramienta en específico. Para el éxito de sus implementaciones, llevan un proceso de acompañamiento a los usuarios.

La experiencia consistió en usar los equipos utilizados por EHAS en la selva de Guatemala e intentar enviar el ultrasonido por video. La Tabla 7 resume los insumos tecnológicos que se usaron en el experimento.

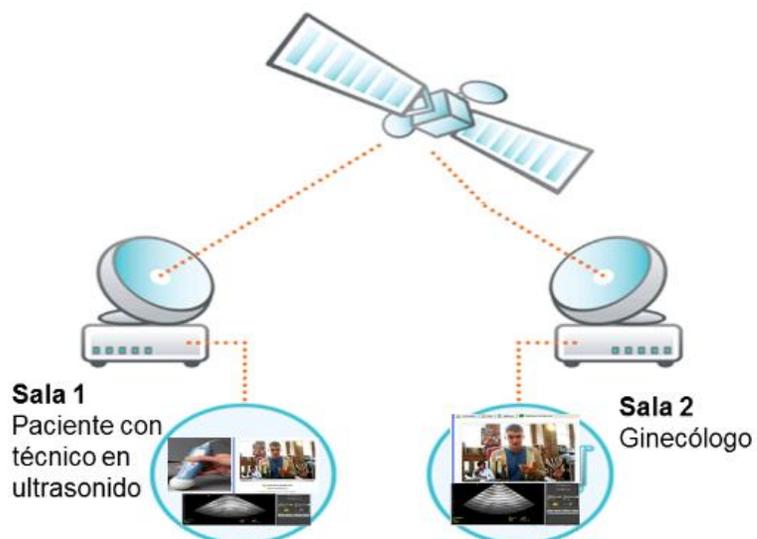
Como se mencionó en el capítulo de metodología, adoptar esta visión de sistemas complejos implica involucrarse por completo en el escenario de aplicación e intentar ver desde otros ojos y poder relatar una historia.

**Tabla 7.** Resumen de insumos tecnológicos

<b>Tipo de servicio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Video en tiempo real</li> <li>• Videoconferencia</li> </ul>
<b>Dispositivos y equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computadoras</li> <li>• Sonda de Ultrasonido</li> </ul>
<b>Aplicaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software propietario del ultrasonido</li> <li>• Skype</li> </ul>
<b>Tipo de conexión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enlace Satelital</li> </ul>

### 5.1.1. Definición de un escenario y objetivo de intervención de e-salud

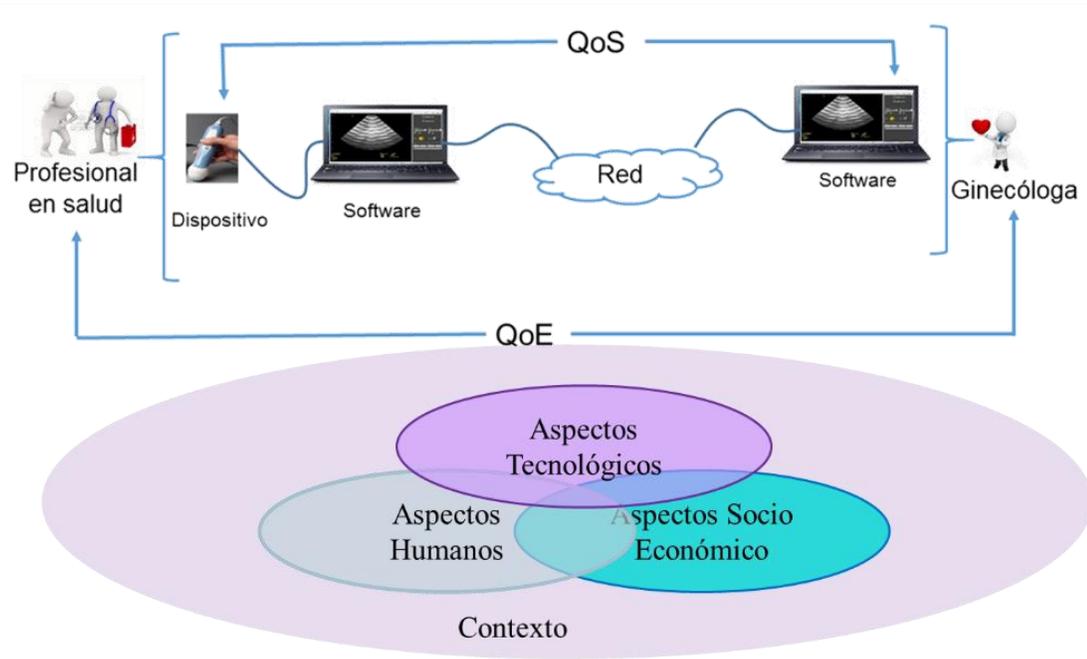
Como primer paso del marco de referencia se plantea un escenario de telediagnóstico, orientado a la especialidad de ginecología usando una sonda de ultrasonido portátil. El sistema consistió en enlazar dos sitios mediante un enlace satelital. Este enlace habilitaba la comunicación entre un sitio donde se encontraba un especialista médico y el paciente, y en el otro extremo se encontraba un ginecólogo simulando que brindaría una segunda opinión al paciente ubicado remotamente. Este escenario se plasma en la Figura 23, en la cual se puede observar que existen otros habilitadores tecnológicos, como son la sonda de ultrasonido y las computadoras personales. El objetivo de la experiencia consistió en llevar a cabo un diagnóstico a distancia sobre la condición de la paciente. Este sistema está pensado para contextos rurales, en donde la falta de infraestructura hospitalaria y de especialistas médicos, en muchos casos, limita la atención de partos complicados (Benito, 2014).



**Figura 23.** Escenario de Telediagnóstico, caso: dispositivo de ultrasonido

### 5.1.2. Identificación de actores e interacciones dentro del escenario

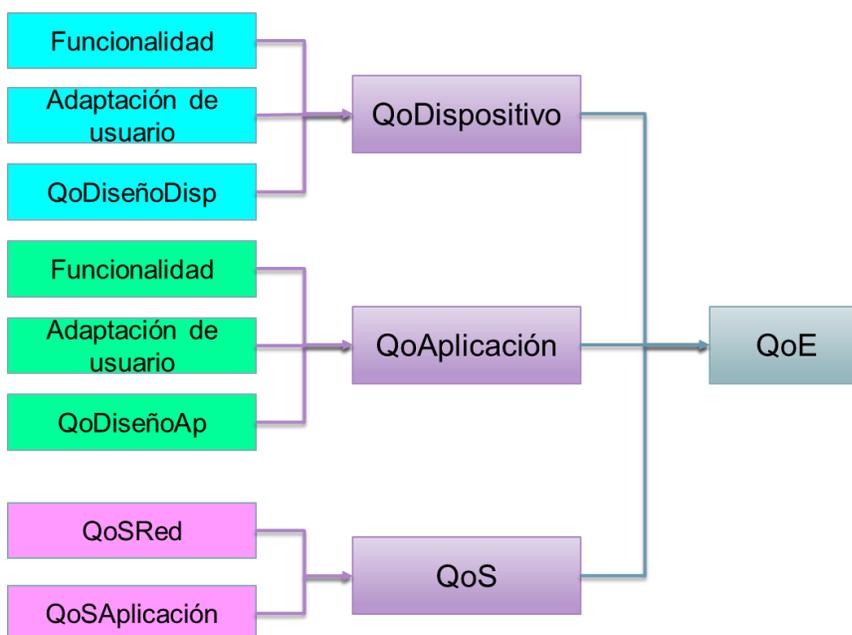
De acuerdo al paso 2 se identificaron los actores involucrados y se definieron sus reglas de comportamiento, que especifican las funciones e interacciones entre los actores en el ecosistema asociado a la intervención en particular. La Figura 24 muestra los principales actores dentro del escenario de e-Salud planteado. A continuación, se mencionan los actores involucrados en el ecosistema:



**Figura 24.** Principales actores dentro el escenario

- Médico especialista en ginecología: Colaboraron 2 ginecólogas para evaluar la intervención. En este caso las especialistas tuvieron interacción directa con el software propietario para así poder realizar el diagnóstico del paciente e intercambiar comunicación entre ambos extremos. Los parámetros de interés acerca del médico son su edad, sus habilidades digitales alrededor de la tecnología y del dispositivo utilizado. La información recibida apoya al médico en su diagnóstico de la condición del paciente en el lugar remoto.
- Profesional en salud (en este ejemplo específico, otra ginecóloga): este agente debe ser una persona con conocimientos básicos de medicina para que pueda seguir las instrucciones del especialista médico a distancia. En un contexto rural remoto o aislado, el profesional de salud es una partera o algún individuo que cuente con un certificado o acreditación emitido por alguna entidad de salud.
- Paciente: En este caso la paciente de ginecología, si bien no manipuló ella misma la sonda de ultrasonido, la ergonomía y facilidad de uso del dispositivo fueron parámetros clave para lograr una interacción satisfactoria paciente-dispositivo.

- Dispositivos médicos (sonda de ultrasonido): Los parámetros que se usaron para evaluar la calidad del diseño del dispositivo que conduce a la QoE (ver ) fueron la ergonomía, facilidad de uso, robustez, portabilidad y flexibilidad incluyendo aspectos relativos a funcionalidad y aplicabilidad en el contexto y cultura de los usuarios.
- Interfaz digital y despliegue de imagen del dispositivo: La sonda cuenta con una interfaz para desplegar la imagen del ultrasonido de la paciente embarazada. Los parámetros considerados para esta interfaz son: facilidad de uso y configuración. También se evaluó su funcionalidad y su interacción con las ginecólogas y pacientes.
- Red de comunicación: la red usada en esta ocasión fue una red satelital simétrica. Los parámetros usados corresponden a los definidos para QoS.



**Figura 25.** Esquema general de parámetros involucrados para la evaluación de QoE

### 5.1.3. Identificar las variables a utilizar.

De acuerdo con el paso 3 del Marco de referencia propuesto (punto 3.2) y basado en la identificación de los actores en el paso 2, se definieron las variables a ser simuladas y se les asignaron pesos, con el apoyo de especialistas médicos. En el paso 4, la encuesta se llevó a cabo teniendo en cuenta las ideas de un observador in situ. En el paso 5 se realizó la simulación utilizando los datos obtenidos en el paso anterior.

La simulación de redes neuro-difusa se realizó utilizando tanto valores lingüísticos como numéricos. Como herramienta de simulación, empleamos el sistema de inferencia basado en la red adaptativa (ANFIS, Matlab Toolkit) ("Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling - MATLAB & Simulink," n.d.; Jang, 1993; Walia, Singh, & Sharma, 2015), que combina los beneficios de las dos técnicas de aprendizaje automático como la lógica borrosa y la red neuronal. La ventaja más significativa de utilizar ANFIS es que todos sus parámetros pueden ser entrenados como una red neuronal dentro de la estructura de un sistema de lógica difusa (Al-Hmouz, Jun Shen, Al-Hmouz, & Jun Yan, 2012). Los resultados de la simulación se obtuvieron en el paso 6, y finalmente en el paso 7 se analizan diferentes escenarios para refinar los valores de las variables utilizadas para estimar la QoE.

#### **5.1.4. Aplicación de encuesta y observación**

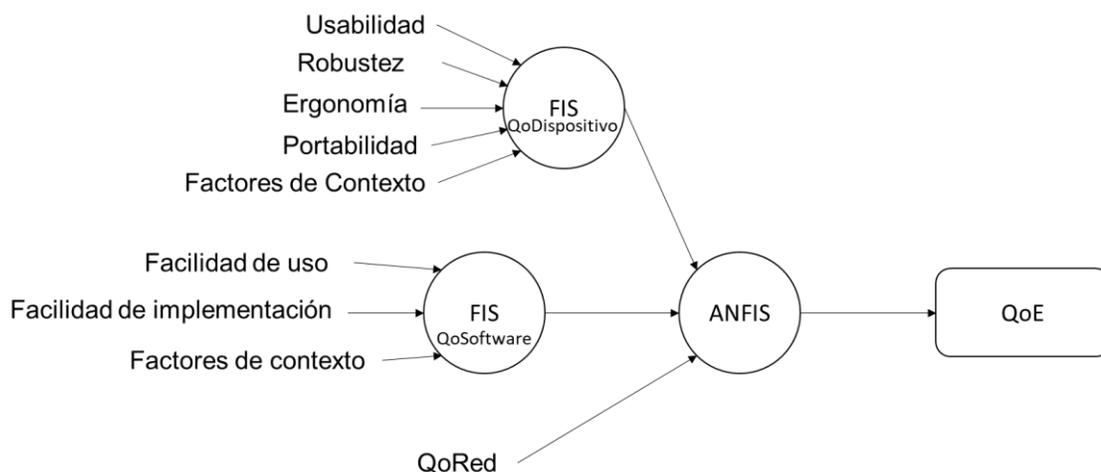
Después de entrevistas con profesionales en salud, se generó un instrumento basado en las necesidades mínimas que necesitan conocer para diagnosticar en una intervención de ginecología. Los expertos en salud consideraron que un sistema de e-Salud adecuado para el entorno descrito, debía permitir que un médico pueda identificar las siguientes características en el bebé:

- Estática fetal
- Vitalidad fetal
- Detección de gemelares
- Biometría fetal
- Estudio básico neurológico
- Valoración cardiaca
- Valoración renal
- Malformaciones esqueléticas
- Sexo fetal
- Patología de líquido amniótico
- Patología de la placenta

En base a esta información y las variables identificadas en el paso anterior, se generó un instrumento de evaluación (ver Anexo B) y se realizó la experiencia para que los médicos puedan evaluar el funcionamiento del sistema de telediagnóstico.

### 5.1.5. Análisis de los resultados de las encuestas y la observación.

Con el objeto de obtener QoE para el escenario estudiado, se llevó a cabo una simulación de redes neuro-difusas del tipo mostrado en la Figura 29 con sus respectivas funciones de membresía descritas en la Figura 27. Las redes neuro-difusas se han empleado en diferentes contextos debido a que permiten la incorporación de diferentes actores incluyendo criterios de percepción (Kwong & Wong, 2008). La aplicación de la red neuro-difusa propuesta para la obtención de QoE permite visualizar la importancia de cada uno de los parámetros relativos a cada actor del ecosistema, para de esta forma estimar la interrelación de los factores tecnológicos, humanos y del contexto, lo cual es el objetivo de la presente contribución enfocada en el área de e-Salud.



**Figura 26.** Esquema de simulación

Para la simulación se utilizaron variables lingüísticas, las cuales fueron sometidas a un sistema de inferencia difusa (FIS, herramienta de Matlab). Como muestra la Figura 26, en base a parámetros relativos

al dispositivo, se obtiene un valor de calidad del dispositivo (QoDispositivo); en base a parámetros que permiten conocer la calidad de la interfaz con la que interactúa el usuario (QoSoftware).

Para la obtención de QoS, ya existen algunas referencias que relacionan valores de parámetros de QoS con variables lingüísticas y se muestran en la Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10 y

Tabla 11 (Malisuwan, Milindavanij, & Kaewphanuekrungsi, 2016).

**Tabla 8.** Rendimiento de la red

	Valor	Rendimiento/Ancho de banda
<b>Rendimiento</b>	Excelente	75%-100%
	Bueno	50%-75%
	Medio	25%-50%
	Pobre	<25%

**Tabla 9.** PLR de la red

	Valor	PLR
<b>PLR</b>	Excelente	0%
	Bueno	3%
	Medio	15%
	Pobre	25%

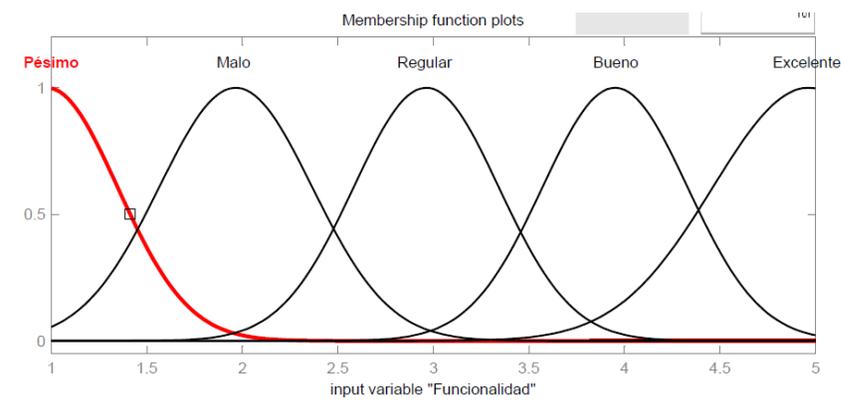
**Tabla 10.** Retardo de la red

	Valor	Retardo
<b>Retardo</b>	Bueno	0-20ms
	Medio	20-50ms
	Pobre	>5ms

**Tabla 11.** Jitter de la red

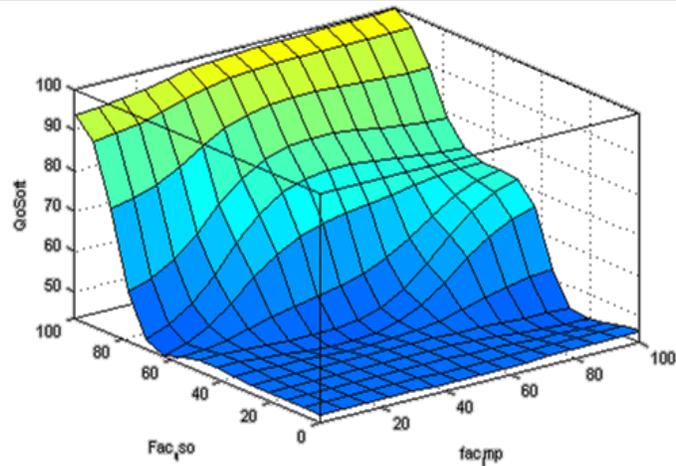
	Valor	Jitter
<b>Jitter</b>	Bueno	0-20ms
	Medio	20-50ms
	Pobre	>5ms

Como se mencionó anteriormente, primero se obtuvieron los valores de QoDispositivo, QoSoftware y QoS mediante la inferencia. Para obtener estos valores, se introdujeron valores iniciales al sistema basados en la encuesta realizada, por lo que mientras se cuente con mayor cantidad de valores de los cuales pueda aprender la red neuro-difusa, el resultado será más confiable.



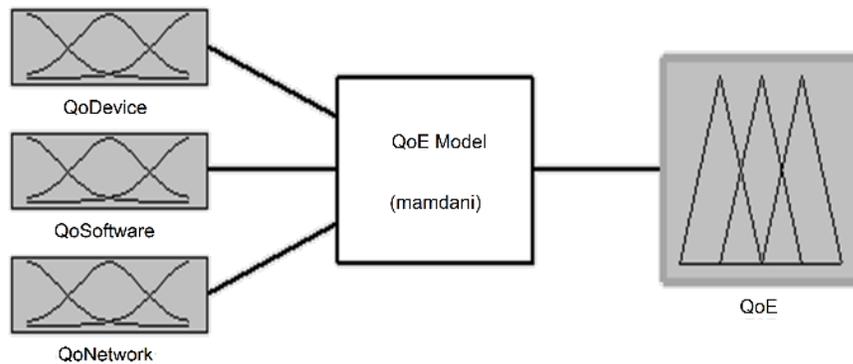
**Figura 27.** Funciones de membresía.

La Figura 28, muestra el valor obtenido para QoSoftware, dado que la simulación permite ir jugando con los valores para observar cómo influyen entre sí.



**Figura 28.**QoSoftware

Se utilizó la Inferencia de Mandami para estimar el valor de QoE en base a los valores de QoDispositivo, QoSoftware y QoS (ver Figura 29). Se decidió utilizar funciones Gaussianas como funciones de membresía. Esta inferencia consta de 4 pasos: la fuzzificación de las variables de entrada, la evaluación de las reglas, la agregación de las salidas de las reglas y por último la defuzzificación.



**Figura 29.** Estimación de QoE mediante lógica difusa

El experimento se realizó variando sucesivamente la velocidad de transmisión del enlace satelital de 256 Kbps a 512 Kbps y 1Mbps. Cabe remarcar que, con el objeto de estudiar los aspectos de usabilidad involucrados, los actores no recibieron explicación del software empleado. La encuesta elaborada tuvo una escala de valores del 1 al 5, donde 5 era la calificación de excelencia (ver anexo B).

## Capítulo 6. Resultados

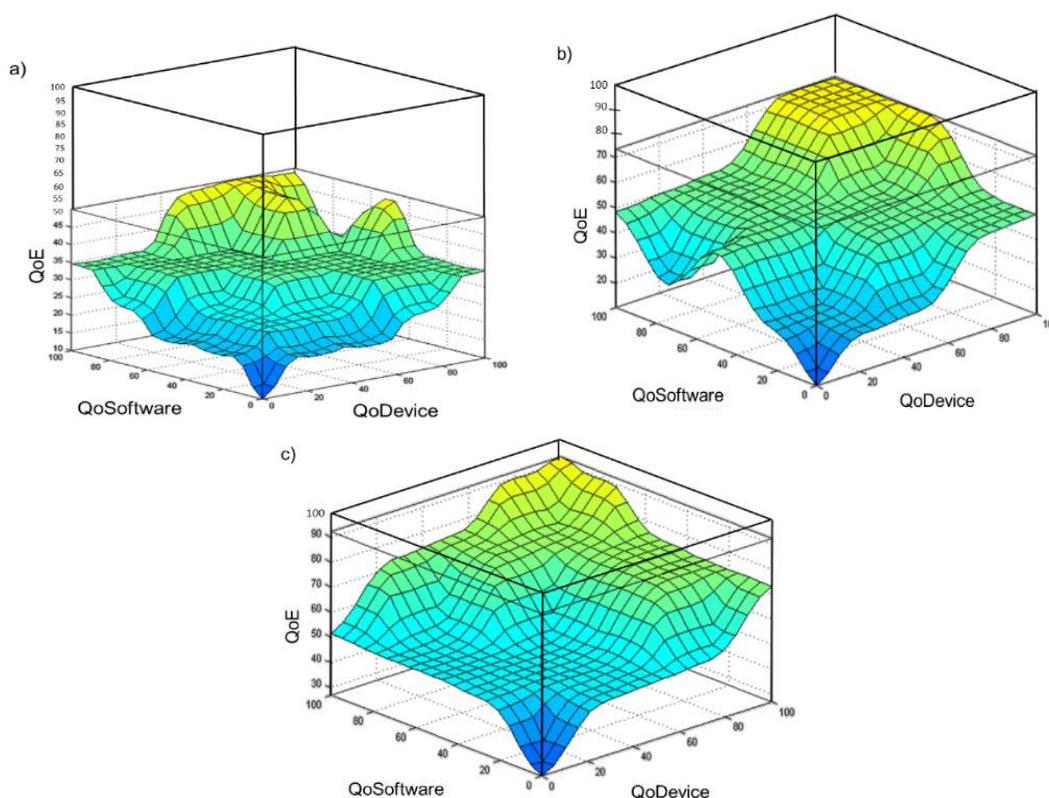
---

### 6.1. Resultados

La Figura 30 muestra los valores resultantes de la simulación de QoE respecto a los valores asignados a los parámetros de la interfaz de uso, QoSoftware; así como a los valores asignados a la usabilidad del dispositivo, QoDispositivo. Los resultados desplegados en dicha figura fueron obtenidos con base a los requerimientos nominales de QoS para diferentes aplicaciones de telemedicina utilizados en la literatura (Skorin-Kapov & Matijasevic, 2010; Vergados, Vergados, & Maglogiannis, 2006; Vouyioukas, Maglogiannis, & Komnakos, 2007) (ver Tabla 12). Estos resultados se obtuvieron para velocidades de transmisión de 1 Mbps, *jitter* despreciable (de 0 – 20 mseg), y un retardo estimado de 700 a 800 mseg para la red satelital utilizada. El modelo propuesto permite utilizar valores de parámetros de QoS a partir de un valor mínimo de 10%, mediano 50% y alto 90%.

**Tabla 12.** Requerimientos de QoS para diferentes aplicaciones de Telemedicina

Tipo de Aplicación	Velocidad de transmisión requerida	Retardo pequeño	Jitter pequeño
Tele-consulta	Alta	Si	Si
Tele-diagnóstico	Alta	Si	No
Tele-monitoreo	Baja	No	No
Tele-educación	Alta	No	No



**Figura 30.** Valores de QoE para diferentes valores de QoS; a) QoS =10%, b) QoS =50% y c) QoS =90%.

Como se puede observar en la Figura 30, la QoS afecta directamente a QoE. Es decir, si se tiene un valor muy bajo de QoS, no es posible obtener un valor alto de QoE; mientras que si QoS es alto, no necesariamente se logra un valor alto de QoE ya que, como se indica en la Figura 19, otros parámetros de naturaleza subjetiva intervienen en el valor final de QoE. Por lo que, para una intervención de e-Salud, se debe garantizar no solo un valor alto de QoS, sino también observar la influencia de QoDispositivo y QoSoftware, los cuales dependen de factores de usabilidad y contexto.

La Figura 30 b) muestra que para un QoS medio (50%), se nota que es posible llegar a un valor entre 60 y 80% de QoE, valor que se considera satisfactorio para el usuario, ya que se combinan los factores humanos y tecnológicos para lograr su aceptación. De aquí que, el contar con dispositivos con una aceptable interfaz gráfica y programación amigable conduce a una QoE alta. Esto denota la importancia de los factores humanos aun cuando los valores de QoS sean de valor promedio.

Cabe mencionar que, como complemento a los resultados de simulación, las opiniones de especialistas médicos obtenidas mediante la encuesta, hicieron notar limitaciones en el telediagnóstico

realizado. Algunas limitaciones fueron las siguientes: a) El médico especialista, quien recibió la señal de ultrasonido, no pudo realizar una valoración cardiaca debido a que el video de ultrasonido presentaba discontinuidad por el *jitter* en transmisión; b) El alcance de la sonda de ultrasonido tampoco permitió distinguir malformaciones esqueléticas ni realizar un estudio básico neurológico. Ambas limitaciones del dispositivo portátil empleado (sonda de ultrasonido) afectan el desempeño general de la intervención. Aun así, a pesar de dichas limitaciones, es posible reducir la mortalidad infantil mediante el telediagnóstico en contextos remotos y aislados, que no cuentan con instalaciones hospitalarias ni especialistas médicos (Benito, 2014).

Los resultados de esta simulación indican que los parámetros considerados para usabilidad y contexto del ecosistema en cuestión son determinantes para lograr una intervención exitosa en un contexto de salud donde las tecnologías de información y comunicación son empleadas. Aun cuando la intervención de e-Salud es de naturaleza compleja, el marco de referencia propuesto proporciona una estrategia factible para enfrentar el desafío que representa la estimación de QoE. A su vez, mediante los pasos sugeridos en el presente trabajo, se integra una metodología que permite observar la interrelación e interdependencia de los factores humanos y tecnológicos para lograr un diseño e implementación de proyectos de e-Salud de acuerdo a la realidad social del contexto, lo cual puede tener importancia en la adecuación de políticas públicas centradas en ampliar la cobertura y calidad de los servicios de salud. Por ende, la estimación de QoE mediante el uso del marco de referencia propuesto, puede aportar elementos adicionales para la estimación de indicadores para el desarrollo de proyectos de Telemedicina sustentables operativa y financieramente (Pan American Health Organization, 2014).

## Capítulo 7. Discusión

---

Con el objeto de hacer operativa la propuesta de esta tesis, la generación de un plan de acción como el marco de referencia, se convierte en un elemento clave en la gestión de las intervenciones. Este marco de referencia pretende tender un puente entre las ciencias naturales y las ciencias sociales, ya que todavía existe una fragmentación entre las mismas. Debido a la naturaleza adaptiva y dinámica del ecosistema de e-Salud, no se pueden separar ambas corrientes de investigación. El propósito de los desarrollos socio-técnicos debe ser de beneficio directo para el usuario final, y a la vez considerar los aspectos de costo-beneficio y costo-efectividad en la evaluación de las intervenciones de e-Salud. Siguiendo la misma línea, el marco de referencia propuesto, puede servir como plataforma para el desarrollo de estándares con participación local, lo cual, resulta imprescindible para reducir las brechas de innovación entre los países en vías de desarrollo y los más avanzados.

Los resultados mostrados en la Figura 30 indican la interdependencia de los factores tecnológicos y humanos. El estimar QoE tomando en cuenta la interacción humana con el software, el dispositivo provee elementos para la toma de decisión en el momento de incorporar los elementos tecnológicos en la intervención de e-Salud, ya que de acuerdo a la simulación, la variabilidad de QoE afecta directamente en el desempeño de la tecnología empleada en relación a capacidades, actitudes y emociones de los usuarios, estas consideraciones en general no son tomadas en cuenta cuando sólo la tecnología se implanta, limitando con esto el potencial que los sistemas y dispositivos tienen en la dotación de servicios de e-Salud, particularmente en zonas rurales y de interés social.

Desde su origen la e-Salud ha sido afectada por los elementos socioculturales, y aunque este hecho no haya sido suficientemente reconocido, o cuando menos observado, consideramos que dichos elementos deben ser incluidos en los programas educativos sobre e-Salud.

El propósito ha sido el aplicar la perspectiva integral que ofrece la complejidad para conformar un marco de referencia que permita evaluar QoE para intervenciones de e-Salud, tomando en cuenta la participación de todos los actores involucrados, sus interacciones y el reconocimiento del contexto; lo cual resulta fundamental para que la e-Salud sea un vehículo efectivo de solidaridad y desarrollo social.

## Capítulo 8. Conclusiones

---

### 8.1. Conclusiones y recomendaciones

El propósito de este trabajo de investigación ha sido el proporcionar un marco de referencia, el cual constituye una plataforma para el diseño e implementación de intervenciones de e-Salud tomando en cuenta los factores de naturaleza humana, tecnológica y la importancia del ecosistema. La estimación de QoE por medio de la simulación efectuada, permite generar escenarios que apoyan el diseño integral de intervenciones de e-Salud. Y la utilización de la metodología de la ciencia de la complejidad constituye una plataforma para analizar el ecosistema de una manera integral lo cual, tal como es planteado en los objetivos y justificación de este trabajo, es esencial para mejorar el desempeño en las intervenciones de e-Salud.

Con ello, se facilita la definición de características técnicas y de usabilidad de los equipos y programas informáticos a utilizar; de la misma forma, se proporciona una herramienta alterna para toma de decisiones que permite en el proceso de despliegue de la infraestructura tecnológica para el contexto específico. En la actualidad, QoE ha adquirido gran importancia en el desarrollo de tecnologías emergentes. Recientes investigaciones hacen hincapié en que el propósito de los proyectos debería ser la satisfacción y beneficio del usuario final como actor principal, sobre todo tratándose de intervenciones relacionadas a la salud.

El enfoque sistémico adoptado en esta tesis, otorga la posibilidad de aplicar el marco de referencia propuesto capaz de interpretar y explicar la interacción entre los sistemas sociales y tecnológicos, así mismo, proveer una perspectiva alterna de abordaje a las intervenciones de e-Salud para innovar y dejar de “hacer más de lo mismo”, de ahí la importancia de observar a partir de diferentes cortes de realidad. El planteamiento de un marco de referencia para abordar la e-Salud con un enfoque alternativo de análisis y operación, puede adicionalmente, coadyuvar al diseño de proyectos (inclusión digital en el sector salud, redes y dispositivos médicos de nueva generación y otros) y programas educativos de manera holística y contribuir a su aplicación al bienestar social.

Evaluar QoE permite revisar e identificar aquellos factores que están impactando en la aceptación de usuario en una tecnología particular en una intervención de e-Salud. Las investigaciones y aplicaciones de QoE se están incrementando en los entornos académicos, industriales y regulatorios, por lo que el contar con un marco de referencia integral como el propuesto en el presente artículo, ayuda a identificar

y proponer indicadores para la evaluación del costo-beneficio y costo-eficacia en proyectos involucrando a las TIC en atención a la salud. A su vez, este marco de referencia puede servir también como plataforma para el desarrollo de estándares, lo cual es fundamental para fortalecer los aspectos normativos y regulatorios en la disciplina de e-Salud, particularmente en países emergentes y en vías de desarrollo. Con lo anterior se resalta la importancia y la contribución de la presente tesis, en la cual se atienden aspectos de naturaleza socio-técnica que requieren de trabajo colaborativo e interdisciplinario. Cabe resaltar que, los principales organismos internacionales trabajando sobre estandarización de telecomunicaciones y salud (UIT y OMS) han puesto especial atención en los aspectos relativos a QoE y salud.

Existen varios métodos para estimar la QoE (Aggarwal, Halepovic, Pang, Venkataraman, & Yan, 2014; Mansouri, Nabavi, Zare Ravasan, & Ahangarbahan, 2016; Wechsung, Engelbrecht, Kühnel, Möller, & Weiss, 2012), sin embargo, la aplicación de los principios de los sistemas complejos asociados con QoE en las intervenciones de e-Salud no se ha informado de forma explícita hasta este documento de tesis.

Los resultados obtenidos y la aplicación del marco de referencia propuesto, prueban la hipótesis planteada, así como el cumplimiento del objetivo general y específico de este trabajo de tesis.

## **8.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar el análisis llevado a cabo en el caso de telediagnóstico motivo de este trabajo, para otras intervenciones de e-Salud, de las cuales se puedan obtener mayor cantidad de datos para las simulaciones; ya que al tratarse de una herramienta de inteligencia artificial, mientras más datos se tengan para que la red pueda aprender, se obtendrán resultados más confiables. Para repetir el análisis, se debe explorar a mayor detalle el espacio inmediato de interés, ya que el desempeño de los actores es totalmente diferente cuando se encuentra en una zona rural con respecto a una zona urbana.

Se recomienda continuar con más experimentos correspondientes a la estimación de QoE incluyendo mayor número de actores y utilizando diferentes dispositivos y equipo médicos involucrados en la práctica médica.

Adicionalmente se deben considerar otras patologías (Medicina interna, Cardiología, Oftalmología, Neumología, Pediatría, Traumatología, Dermatología, Gastroenterología, Neurología, etc.) que tienen fuerte impacto en el bienestar de la sociedad.

Dado que este trabajo de tesis es inédito en la búsqueda de estimar QoE en intervenciones de e-Salud, mediante la alternativa de estudio aplicando sistemas complejos, se argumenta que su potencial de aplicación en otras áreas es amplio, y puede coadyuvar al entendimiento de las interacciones tecnología-sociedad en otros campos de estudio.

### **8.3. Trabajo futuro**

Como trabajo futuro, y con el objeto de afinar el marco de referencia propuesto, se recomienda incrementar el número de participantes en las encuestas para cada intervención de e-Salud. Adicionalmente, llevar a cabo simulaciones utilizando redes neuro-difusas para los casos de teleconsulta, telemonitoreo, educación en salud y acceso a archivos médicos (Malindi, 2011), para entender con mayor precisión y profundidad el papel que juega QoE en el desarrollo de proyectos de e-Salud de diversa naturaleza. Así mismo, el llevar a cabo experiencias de validación práctica con diferentes infraestructuras de conectividad y en diferentes contextos, proporcionaría mayor aprendizaje sobre la naturaleza de los elementos humanos en intervenciones de e-Salud.

Otro trabajo pendiente es el de incursionar en otras herramientas de simulación para sistemas complejos para complementar a los resultados obtenidos a través de la lógica difusa.

Se recomienda adaptar el marco de referencia desarrollado en la elaboración de una propuesta de estandarización de QoE aplicada a la salud que se adecúe a las necesidades del entorno de países en desarrollo. Este podría ser un paso interesante para empezar a reducir la brecha de estandarización que existe en los países Latinoamericanos.

Sería deseable que derivado de este trabajo de investigación, se establezcan las bases para desarrollar guías de práctica clínica de e-Salud, que estuviesen dentro de las directivas tanto de la UIT como de la OMS.

## Literatura citada

---

- Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling - MATLAB & Simulink. (2017). Retrieved July 3, 2017, from <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/adaptive-neuro-fuzzy-inference-systems.html>
- Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling - MATLAB & Simulink. (n.d.). Retrieved September 23, 2016, from <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/adaptive-neuro-fuzzy-inference-systems.html?requestedDomain=www.mathworks.com>
- Aggarwal, V., Halepovic, E., Pang, J., Venkataraman, S., & Yan, H. (2014). Prometheus: toward quality-of-experience estimation for mobile apps from passive network measurements (pp. 1–6). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2565585.2565600>
- Al-Hmouz, A., Jun Shen, Al-Hmouz, R., & Jun Yan. (2012). Modeling and Simulation of an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Mobile Learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5(3), 226–237. <https://doi.org/10.1109/TLT.2011.36>
- Almeida-Filho, N. (2006). Complejidad y Transdisciplinarietà en el Campo de la Salud Colectiva: Evaluaci3n de Conceptos y Aplicaciones. *Salud Colectiva*, 2(2), 123–146.
- Alreshoodi, M., & Woods, J. (2013). Survey on Qoe\Qos Correlation Models Formultimedia Services. *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, 4(3), 53–72. <https://doi.org/10.5121/ijdps.2013.4305>
- Anderson, R. A. (2005). Case Study Research: The View From Complexity Science. *Qualitative Health Research*, 15(5), 669–685. <https://doi.org/10.1177/1049732305275208>
- Antonio Hernandez. (2006). *Helath Technology Management in Latin America and Caribbean*. Presented at the Pan American Health Organization, Regional Office of the World Health Organization.
- Axelrod, R., & Cohen, M. D. (2000). *Harnessing complexity: organizational implications of a scientific frontier*. New York: Basic Books.
- Benito, R. (2014, March 15). En la selva peruana me di cuenta de que un ingeniero tambi3n puede salvar vidas. *El Confidencial*. Retrieved from [http://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2014-03-15/en-la-selva-peruana-me-di-cuenta-de-que-un-ingeniero-tambien-puede-salvar-vidas\\_101575/](http://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2014-03-15/en-la-selva-peruana-me-di-cuenta-de-que-un-ingeniero-tambien-puede-salvar-vidas_101575/)
- Broens, T. H. F., Huis in't Veld, R. M. H. A., Vollenbroek-Hutten, M. M. R., Hermens, H. J., van Halteren, A. T., & Nieuwenhuis, L. J. M. (2007). Determinants of successful telemedicine implementations: a literature study. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 13(6), 303–309. <https://doi.org/10.1258/135763307781644951>
- Castañares-Maddox, E. J. (2009). *Sistemas complejos y gesti3n ambiental: el caso del Corredor Biol3gico Mesoamericano M3xico*. M3xico: Comisi3n Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Retrieved from [http://era-mx.org/biblio/SistemasComplejos\\_GesAmb\\_CBM.pdf](http://era-mx.org/biblio/SistemasComplejos_GesAmb_CBM.pdf)
- Chen, K.-T., Tu, C.-C., & Xiao, W.-C. (2009). OneClick: A Framework for Measuring Network Quality of Experience (pp. 702–710). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2009.5061978>

- Chetley, A., Davies, J., Trude, B., McConnell, H., Ramirez, R., Shields, T., ... Nyamai-Kisia, C. (2006). *Improving health connecting people: the role of ICTs in the health sector of developing countries A framework paper*. (Working paper No. 37521).
- DDS - Dispositivo Global. (2017). Retrieved July 1, 2017, from <http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/piezas%20comunicacionales/cursosDDS/cursosesp/unidad1B.html>
- EHAS. (2017). 21 abril 2017: Presentación "Embarazo Saludable" @ Enlace Hispano Americano de Salud. Retrieved July 31, 2017, from <http://www.ahas.org/jornada-guatemala-2017/>
- ETSI. (2003). *Guidelines for real-time person-to-person communication services* (Technical Report No. V1.1.1(2003-11)). Francia: European Telecommunications Standards Institute.
- ETSI. (2010). *Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services* (Technical Report No. V1.0.2(2010-01)). Francia: European Telecommunications Standards Institute.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Gegov, A. (2010). *Fuzzy networks for complex systems: a modular rule base approach*. Berlin: Springer.
- González, I. B., Fernández, A. M., & Moreno, C. R. (2012, Enero). Guía de la Cooperación Española para la incorporación de las TIC en las intervenciones de Salud en la Cooperación para el Desarrollo. Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación.
- ITU-T P.1080 Rec. Series G. (2008). Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks - Multimedia quality of service and performance , Generic and user-related aspects. Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685. <https://doi.org/10.1109/21.256541>
- Kannampallil, T. G., Schauer, G. F., Cohen, T., & Patel, V. L. (2011). Considering complexity in healthcare systems. *Journal of Biomedical Informatics*, 44(6), 943–947. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2011.06.006>
- Kilkki, K. (2008). Quality of Experience in Communications Ecosystem. *Journal of Universal Computer Science*, 14(5), 615–624.
- Klein, J. T. (2004). Interdisciplinarity and complexity: An evolving relationship. *Emergence: Complexity & Organization*, 6.
- Kwong, C. K., & Wong, T. C. (2008). A neuro-fuzzy approach to generating customer satisfaction model for new product development (pp. 1804–1808). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2008.4738183>
- Liu, Y.-Y., Slotine, J.-J., & Barabasi, A.-L. (2013). Observability of complex systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(7), 2460–2465. <https://doi.org/10.1073/pnas.1215508110>
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162.

- Malindi, P. (2011). QoS in Telemedicine. In G. Grasczew (Ed.), *Telemedicine Techniques and Applications*. InTech. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/telemedicine-techniques-and-applications/qos-in-telemedicine>
- Malisuwan, S., Milindavani, D., & Kaewphanuekrungsi, W. (2016). Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) of the 4G LTE Perspective. *International Journal of Future Computer and Communication*, 5(3), 158–162. <https://doi.org/10.18178/ijfcc.2016.5.3.463>
- Mansouri, T., Nabavi, A., Zare Ravasan, A., & Ahangarbahan, H. (2016). A practical model for ensemble estimation of QoS and QoE in VoIP services via fuzzy inference systems and fuzzy evidence theory. *Telecommunication Systems*, 61(4), 861–873. <https://doi.org/10.1007/s11235-015-0041-6>
- MARISHELL. (2012). EHAS, telemedicina para el desarrollo. Retrieved July 5, 2017, from [http://www.compromisoempresarial.com/innovacion\\_social/emprendedores-sociales/2012/10/ehas-telemedicina-para-el-desarrollo/](http://www.compromisoempresarial.com/innovacion_social/emprendedores-sociales/2012/10/ehas-telemedicina-para-el-desarrollo/)
- Martínez, A. (2001). *Bases metodológicas para evaluar la viabilidad y el impacto de proyectos de telemedicina*. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud.
- MATLAB & Simulink. (2017). Neuro-Adaptive Learning and ANFIS - MATLAB & Simulink. Retrieved May 19, 2017, from <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/neuro-adaptive-learning-and-anfis.html>
- Möller, S., & Raake, A. (Eds.). (2014). *Quality of Experience*. Cham: Springer International Publishing. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-02681-7>
- Morin, E., & Pakman, M. (1994). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.
- Morin, E., & Pakman, M. (2011). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona (España): Gedisa.
- Nanda, P., & Fernandes, R. (2007). Quality of Service in Telemedicine (pp. 2–2). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICDS.2007.35>
- Nokia. (2004). *Quality of Experience (QoE) of mobile services: Can it be measured and improved?* (White Paper).
- OCDE. (2013). *ICTs and the Health Sector*. OECD Publishing. Retrieved from [http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/icts-and-the-health-sector\\_9789264202863-en](http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/icts-and-the-health-sector_9789264202863-en)
- OECD (Ed.). (2010). *Improving health sector efficiency: the role of information and communication technologies*. Paris: OECD.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Global Science Forum. (2009). *Applications of Complexity Science for Public Policy: New Tools for Finding Unanticipated Consequences and Unrealized Opportunities* (Workshop). Erice, Sicily: OCDE.
- PAHO-WHO. (2012). Health Technology Assessment and Incorporation into Health Systems. Pan American Health Organization.

- Paley, J., & Eva, G. (2011). Complexity theory as an approach to explanation in healthcare: A critical discussion. *International Journal of Nursing Studies*, *48*(2), 269–279.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2010.09.012>
- Pan American Health Organization. (2014, October). Strategy for Universal Access to Health and Universal Health Coverage. 66th Session of The Regional Committee of WHO for the Americas.
- Patrick, A. S., Singer, J., Corrie, B., Noel, S., El Khatib, K., Emond, B., ... Marsh, S. (2004). A QoE sensitive architecture for advanced collaborative environments (pp. 319–322). *IEEE Comput. Soc.*  
<https://doi.org/10.1109/QSHINE.2004.6>
- Ramis Andalia, R. M., & Sotolongo Codina, P. L. (2009). Aportes del pensamiento y las ciencias de la Complejidad al estudio de los determinantes de la salud. *Revista Cubana de Salud Pública*, *35*(4), 65–77. <https://doi.org/10.1590/S0864-34662009000400008>
- Rehman Laghari, K., & Connelly, K. (2012). Toward total quality of experience: A QoE model in a communication ecosystem. *IEEE Communications Magazine*, *50*(4), 58–65.  
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2012.6178834>
- Rojas-Mendizabal, V. A., Serrano-Santoyo, A., Conte-Galvan, R., & Gomez-Gonzalez, A. (2013). Toward a Model for Quality of Experience and Quality of Service in e-health Ecosystems. *Procedia Technology*, *9*, 968–974. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.108>
- Sharp, P., & Hockfield, S. (2017). Convergence: The future of health. *Science*, *355*(6325), 589.1-589.  
<https://doi.org/10.1126/science.aam8563>
- Shehadi, R., Tohme, W., Bitar, J., & Kutty, S. (2011). Anatomy of an E-Health Ecosystem. Booz & Company Inc.
- Skorin-Kapov, L., & Matijasevic, M. (2010). Analysis of QoS Requirements for e-Health Services and Mapping to Evolved Packet System QoS Classes. *International Journal of Telemedicine and Applications*, *2010*, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2010/628086>
- UIT. (2008). ITU-T Recommendation P.10/G.100: “Amendment 2: New definitions for inclusion in Recommendation ITU-T P.10/G.100.” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland.
- UIT-T E.800. (2008). Definiciones de términos relativos a la calidad de servicio. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland.
- Vergados, D. J., Vergados, D. D., & Maglogiannis, I. (2006). NGL03-6: Applying Wireless DiffServ for QoS Provisioning in Mobile Emergency Telemedicine (pp. 1–5). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2006.260>
- Vouyioukas, D., Maglogiannis, I., & Komnakos, D. (2007). Emergency m-Health Services through High-Speed 3G Systems: Simulation and Performance Evaluation. *SIMULATION*, *83*(4), 329–345.  
<https://doi.org/10.1177/0037549707083113>
- Wadern, S. D.-L.-Z. für I. G., 66687. (2017). Schloss Dagstuhl : Seminar Homepage. Retrieved July 4, 2017, from <http://www.dagstuhl.de/de/programm/kalender/semhp/?semnr=16472>

- Walia, N., Singh, H., & Sharma, A. (2015). ANFIS: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System- A Survey. *International Journal of Computer Applications*, 123(13), 32–38. <https://doi.org/10.5120/ijca2015905635>
- Watts, D. J. (2003). *Six degrees: the science of a connected age*. New York: Norton.
- Wechsung, I., Engelbrecht, K.-P., Kühnel, C., Möller, S., & Weiss, B. (2012). Measuring the Quality of Service and Quality of Experience of multimodal human–machine interaction. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 6(1–2), 73–85. <https://doi.org/10.1007/s12193-011-0088-y>
- World Health Organization (Ed.). (2011). *Telemedicine: opportunities and developments in member states: report on the second Global survey on eHealth*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- World Health Organization. (2014). Trade, foreign policy, diplomacy and health. Retrieved March 2, 2014, from <http://www.who.int/trade/glossary/story021/en/>
- World Health Organization, & International Telecommunication Union (Eds.). (2012). *National eHealth Strategy Toolkit*. Geneva: World Health Organization.

## Anexos

**Anexo A.** Tabla de construcción sistémica

ELEMENTOS		PROCESO DE ARTICULACION		
		CONDICION ACTUAL OBSERVADA	CONDICIÓN DESEADA	
<b>Oficinas de Nivel estratégico</b> Promueve la compra de equipos de tele-diagnóstico		Canaliza los equipos a los centros de salud, en forma genérica	Canalizar los equipos en base a necesidades de los escenarios específicos	
<b>Centros de Salud (nivel táctico)</b> Provee insumos para la ejecución del tele-diagnóstico				
<b>Actores de subsistema humano, tecnológico y socio-económico en intervenciones de e-Salud (nivel operativo)</b>  Espacio de interés inmediato	Contexto Urbano	C/ Esp. Med.	Cuenta con equipamiento y capacitación para asistir a diferentes pacientes.	Además de satisfacer sus necesidades pueda brindar apoyo a otros sitios menos favorecidos.
		S/ Esp. Med	No cuenta con equipamiento y/o capacitación para solucionar ciertos problemas de salud.	Pueda contar con equipamiento y/o capacitación para solucionar ciertos problemas de salud.
	Contexto Rural		No existe equipamiento y/o capacitación para recibir asistencia de especialistas médicos en caso de necesitarlos. Por lo que los habitantes de dichas regiones se deben trasladar.	Pueda contar con equipamiento y/o capacitación para solucionar ciertos problemas de salud. No se tengan que trasladar los pacientes a otros lugares para ser atendidos.
	Médicos	C/ Habilidades digitales	Usan a su favor diferentes herramientas tecnológicas para mejorar su servicio.	Usan a su favor diferentes herramientas tecnológicas para mejorar su servicio.
		S/ Habilidades digitales	El pretender usar herramientas tecnológicas puede representar para ellos una pérdida de tiempo y un distractor al momento de brindar un servicio	Que puedan usar a su favor diferentes herramientas tecnológicas para mejorar su servicio.

## Anexo B

### Cuestionario para evaluación de QoE en e-Health Caso Ultrasonido

Edad:

Especialidad Médica:

Género:

Escala para responder

1	2	3	4	5
Pésima	Mala	Regular	Buena	Excelente

A partir de la experiencia que tenga con el sistema de e-Health, responda las preguntas para contribuir a conocer la Calidad de Experiencia (QoE).

<b>Sobre el Dispositivo</b>	1	2	3	4	5
Facilidad de uso del equipo					
Comodidad de la sonda					
El dispositivo es útil para usar en área rural?					

<b>Sobre la calidad de la información recibida</b>	1	2	3	4	5
Resolución					
Nitidez					
Continuidad en la imagen					

<b>El sistema permite diagnosticar</b>	1	2	3	4	5
Estática fetal					
Vitalidad fetal					
Detección de gemelares					
Biometría fetal					
Estudio básico neurológico					
Valoración Cardíaca					
Valoración renal					
Malformaciones esqueléticas					
Sexo fetal					
Patología de líquido amniótico					
Patología de la placenta					