

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



Departamento de Informática

TESIS DOCTORAL

**Análisis del uso de la Inteligencia Colaborativa
como herramienta para la construcción de bases de
conocimiento consensuadas en procesos de
diagnóstico médico.**

Gandhi Samuel Hernández Chan

Dirigida por:

Dr. D. Juan Miguel Gómez Berbís

Dr. D. Alejandro Rodríguez González

2013

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ESTADO DEL ARTE	5
2.1	REDES SOCIALES (DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN).....	5
2.2	SOCIAL MEDIA.....	7
2.3	WEB 2.0.....	8
2.4	WEB SEMÁNTICA	11
2.5	MEDICINA EN LA WEB (E-HEALTH 2.0).....	20
2.6	INTELIGENCIA COLABORATIVA	25
2.7	SISTEMAS DE SOPORTE A LA DECISIÓN MÉDICA.....	30
2.8	CONCLUSIONES	33
3.	REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO MÉDICO	34
3.1	TERMINOLOGÍAS.....	34
3.1.1.	<i>Unified Medical Language System (UMLS)</i>	34
3.1.2.	<i>Systematized nomenclature of medicine clinical terms (SNOMED-CT)</i> ...	42
3.2	ONTOLOGÍAS BIOMÉDICAS.....	50
3.2.1	<i>open biomedical ontologies (OBO)</i>	51
3.2.2	<i>Infectious disease ontology (IDO)</i>	55
3.2.3	<i>generalised Architecture for Languages, encyclopedias and nomenclatures in medicine (GALEN)</i>	57
3.2.4	<i>International classification of diseases (ICD10)</i>	60
3.2.5	<i>MENELAS</i>	61
3.3	ONTOLOGÍAS COLABORATIVAS.....	64
3.4	CONCLUSIONES.....	65
4.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	68
4.1	PROBLEMATICA.....	68
4.2	OBJETIVOS.....	68
4.3	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	69
4.4	PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS	74
4.5	EVALUACIÓN.....	75
5.	SISTEMA GALENO.	79
5.1	ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN.....	79
5.1.1	<i>Capa de presentación</i>	80

5.1.2	<i>Capa de Lógica de Negocio</i>	80
5.1.3	<i>Capa de Datos</i>	81
5.2	REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO.....	82
5.2.1	<i>Relaciones entre las ontologías</i>	87
5.3	PLATAFORMA.....	88
5.4	TOMA DE DECISIONES MEDIANTE INFERENCIA.....	97
5.5	MÉTODOS DE CONSENSO.....	98
5.5.1	<i>Alineación de Ontologías (Ontology Alignment)</i>	98
5.5.2	<i>Fusión de Ontologías (Ontology Merging)</i>	100
5.5.3	<i>Mapeo de Ontologías (Ontology Mapping)</i>	101
5.5.4	<i>Coincidencia de signos/síntomas</i>	104
5.5.5	<i>Similitud por pares</i>	104
5.5.6	<i>Ponderación basada en modificaciones</i>	105
6.	VALIDACIÓN	108
6.1	ANÁLISIS DE DATOS.....	108
6.1.1	<i>Resultados del experimento 1. (Base de conocimiento vacía)</i>	110
6.1.1.1	<i>Medición de valores cuantitativos para el experimento 1</i>	110
6.1.1.2	<i>Medición de valores cualitativos para el experimento 1</i>	114
6.1.2	<i>Resultados del Experimento 2. (base de conocimiento poblada)</i>	127
6.1.2.1	<i>Medición de valores cuantitativos para el experimento 2</i>	127
6.1.2.2	<i>Medición de valores cualitativos para el experimento 2</i>	131
6.2	COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS.....	144
7.	CONCLUSIONES	147
	CONCLUSIONS	148
8.	TRABAJO FUTURO	149
9.	REFERENCIAS	150
10.	ANEXOS	162
10.1	<i>Tablas y Gráficas del Experimento 1</i>	163
10.2	<i>Tablas y Gráficas del Experimento 2</i>	187

Índice de figuras

FIGURA. 1 ESQUEMA UMLS	39
FIGURA. 2 SEMANTIC NETWORK UMLS	40
FIGURA. 3 CASO DE INCONSISTENCIA EN UMLS	41
FIGURA. 4 ARQUITECTURA ODDX.....	72
FIGURA. 5 PROCESO DE EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE ORO	77
FIGURA. 6 ARQUITECTURA DEL SISTEMA GALENO	79
FIGURA. 7 DIAGRAMA DE LA ONTOLOGÍA DDXONT.....	85
FIGURA. 8 REPRESENTACIÓN DE CLINICAL FINDINGS ONTOLOGY	85
FIGURA. 9 SISTEMA GALENO. VENTANA PARA LA EDICIÓN DE LA BASE DE CONOCIMIENTO.....	89
FIGURA. 10 SISTEMA GALENO. VENTANA PARA AGREGAR NUEVOS SIGNOS	90
FIGURA. 11 SISTEMA GALENO. FILTRADO DE SIGNOS.....	91
FIGURA. 12 SISTEMA GALENO. NUEVO SIGNO AGREGADO.....	92
FIGURA. 13 SISTEMA GALENO. LISTA DE TÉRMINOS GENERADOS POR SNOMED-CT	93
FIGURA. 14 SISTEMA GALENO. VENTANA PARA AGREGAR NUEVAS PRUEBAS DIAGNÓSTICAS.....	94
FIGURA. 15 SISTEMA GALENO. VENTANA PARA LA OBTENCIÓN DE DIAGNÓSTICOS DIFERENCIALES	95
FIGURA. 16 SISTEMA GALENO. VENTANA DE ENVÍO DE RESULTADOS	96
FIGURA. 17 SISTEMA GALENO CON BASE DE CONOCIMIENTO POBLADA	97
FIGURA. 18 ALINEACIÓN DE ONTOLOGÍAS CON AGREEMENTMAKER.....	99
FIGURA. 19 RESULTADO DEL PROCESO DE FUSIÓN DE ONTOLOGÍAS CON PROTÉGÉ.....	101
FIGURA. 20 RESULTADO DEL PROCESO DE MAPEO DE ONTOLOGÍAS	103
FIGURA. 21 COINCIDENCIA DE EXPERTOS EN LA DEFINICIÓN DE SIGNOS	104
FIGURA. 22 SIMILITUD POR PARES.....	105
FIGURA. 23 DIFERENCIA CUANTITATIVA BRONQUITIS	111
FIGURA. 24 DIFERENCIA CUANTITATIVA CÓLERA	111
FIGURA. 25 DIFERENCIA CUANTITATIVA GASTROENTERITIS.....	112
FIGURA. 26 DIFERENCIA CUANTITATIVA MENINGITIS.....	113
FIGURA. 27 DIFERENCIA CUANTITATIVA NEUMONÍA	113
FIGURA. 28 DIFERENCIA CUALITATIVA BRONQUITIS	115
FIGURA. 29 DIFERENCIA CUALITATIVA CÓLERA.....	116
FIGURA. 30 DIFERENCIA CUALITATIVA GASTROENTERITIS.....	117
FIGURA. 31 DIFERENCIA CUALITATIVA MENINGITIS.....	118
FIGURA. 32 DIFERENCIA CUALITATIVA NEUMONÍA.....	119
FIGURA. 33 GRÁFICA RESULTADO RESUMEN BRONQUITIS.....	120
FIGURA. 34 GRÁFICA RESULTADO RESUMEN CÓLERA.....	121
FIGURA. 35 GRÁFICA RESULTADO RESUMEN GASTROENTERITIS	122
FIGURA. 36 GRÁFICA RESULTADO RESUMEN MENINGITIS.....	123
FIGURA. 37 GRÁFICA RESULTADO RESUMEN NEUMONÍA.....	124
FIGURA. 38 EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL - INTERSECCIÓN	125
FIGURA. 39 EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL - UNIÓN	126
FIGURA. 40 DIFERENCIA CUANTITATIVA ASMA.....	128
FIGURA. 41 DIFERENCIA CUANTITATIVA RESFRIADO COMÚN	128
FIGURA. 42 DIFERENCIA CUANTITATIVA PANCREATITIS	129
FIGURA. 43 DIFERENCIA CUANTITATIVA SINUSITIS	130
FIGURA. 44 DIFERENCIA CUANTITATIVA TUBERCULOSIS	130
FIGURA. 45 DIFERENCIA CUALITATIVA ASMA	132
FIGURA. 46 DIFERENCIA CUALITATIVA RESFRIADO COMÚN	133
FIGURA. 47 DIFERENCIA CUALITATIVA PANCREATITIS	134
FIGURA. 48 DIFERENCIA CUALITATIVA SINUSITIS	135
FIGURA. 49 DIFERENCIA CUALITATIVA TUBERCULOSIS	136
FIGURA. 50 RESULTADO RESUMEN ASMA	137
FIGURA. 51 RESULTADO RESUMEN RESFRIADO COMÚN.....	138
FIGURA. 52 RESULTADO RESUMEN PANCREATITIS.....	139
FIGURA. 53 RESULTADO RESUMEN SINUSITIS.....	140

FIGURA. 54 RESULTADO RESUMEN TUBERCULOSIS.....	141
FIGURA. 55 EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL - INTERSECCIÓN	142
FIGURA. 56 EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL - UNIÓN	143
FIGURA. 57. RESULTADO BRONQUITIS. M1. INTERSECCIÓN.....	163
FIGURA. 58. RESULTADO BRONQUITIS. M1. UNIÓN	164
FIGURA. 59. RESULTADO BRONQUITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	165
FIGURA. 60. RESULTADO BRONQUITIS. M2 Y M3. UNIÓN	166
FIGURA. 61. RESULTADO CÓLERA. M1. INTERSECCIÓN.....	167
FIGURA. 62. RESULTADO CÓLERA. M1. UNIÓN	168
FIGURA. 63. RESULTADO CÓLERA. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	169
FIGURA. 64. RESULTADO CÓLERA. M2 Y M3. UNIÓN	170
FIGURA. 65. RESULTADO GASTROENTERITIS. M1. INTERSECCIÓN	171
FIGURA. 66. RESULTADO GASTROENTERITIS. M1. UNIÓN.....	172
FIGURA. 67. RESULTADO GASTROENTERITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	173
FIGURA. 68. RESULTADO GASTROENTERITIS. M2 Y M3. UNIÓN	174
FIGURA. 69. RESULTADO MENINGITIS. M1. INTERSECCIÓN.....	175
FIGURA. 70. RESULTADO MENINGITIS. M1. UNIÓN.....	176
FIGURA. 71. RESULTADO MENINGITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	177
FIGURA. 72. RESULTADO MENINGITIS. M2 Y M3. UNIÓN	178
FIGURA. 73. RESULTADO NEUMONÍA. M1. INTERSECCIÓN.....	179
FIGURA. 74. RESULTADO NEUMONÍA. M1. UNIÓN	180
FIGURA. 75. RESULTADO NEUMONÍA. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	181
FIGURA. 76. RESULTADO NEUMONÍA. M2 Y M3. UNIÓN	182
FIGURA. 77. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M1. INTERSECCIÓN	183
FIGURA. 78. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M1. UNIÓN	184
FIGURA. 79. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	185
FIGURA. 80. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. UNIÓN.....	186
FIGURA. 81. RESULTADO ASMA. M1. INTERSECCIÓN	187
FIGURA. 82. RESULTADO ASMA. M1. UNIÓN.....	188
FIGURA. 83. RESULTADO ASMA. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	189
FIGURA. 84. RESULTADO ASMA. M2 Y M3. UNIÓN	190
FIGURA. 85. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M1. INTERSECCIÓN.....	191
FIGURA. 86. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M1. UNIÓN	192
FIGURA. 87. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	193
FIGURA. 88. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M2 Y M3. UNIÓN.....	194
FIGURA. 89. RESULTADO PANCREATITIS. M1. INTERSECCIÓN	195
FIGURA. 90. RESULTADO PANCREATITIS. M1. UNIÓN	196
FIGURA. 91. RESULTADO PANCREATITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	197
FIGURA. 92. RESULTADO PANCREATITIS. M3 Y M3. UNIÓN.....	198
FIGURA. 93. RESULTADO SINUSITIS. M1. INTERSECCIÓN.....	199
FIGURA. 94. RESULTADO SINUSITIS. M1. UNIÓN	200
FIGURA. 95. RESULTADO SINUSITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	201
FIGURA. 96. RESULTADO SINUSITIS. M2 Y M3. UNIÓN.....	202
FIGURA. 97. RESULTADO TUBERCULOSIS. M1. INTERSECCIÓN	203
FIGURA. 98. RESULTADO TUBERCULOSIS. M1. UNIÓN	204
FIGURA. 99. RESULTADO TUBERCULOSIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	205
FIGURA. 100. RESULTADO TUBERCULOSIS. M2 Y M3. UNIÓN.....	206
FIGURA. 101. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M1. INTERSECCIÓN	207
FIGURA. 102. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M1. UNIÓN.....	208
FIGURA. 103. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	209
FIGURA. 104. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. UNIÓN.....	210

Índice de tablas

TABLA 1. DOMINIO Y RANGO DE LAS RELACIONES ENTRE ONTOLOGÍAS	87
TABLA 2. DIFERENCIA CUANTITATIVA.	109
TABLA 3. DIFERENCIA CUALITATIVA.....	109
TABLA 4. DIFERENCIA CUANTITATIVA BRONQUITIS.....	110
TABLA 5. DIFERENCIA CUANTITATIVA CÓLERA.....	111
TABLA 6. DIFERENCIA CUANTITATIVA GASTROENTERITIS	112
TABLA 7. DIFERENCIA CUANTITATIVA MENINGITIS	112
TABLA 8. DIFERENCIA CUANTITATIVA NEUMONÍA	113
TABLA 9. DIFERENCIA CUALITATIVA BRONQUITIS	114
TABLA 10. DIFERENCIA CUALITATIVA CÓLERA	115
TABLA 11. DIFERENCIA CUALITATIVA GASTROENTERITIS.....	116
TABLA 12. DIFERENCIA CUALITATIVA MENINGITIS	117
TABLA 13. DIFERENCIA CUALITATIVA NEUMONÍA	118
TABLA 14. RESULTADO RESUMEN BRONQUITIS	120
TABLA 15. RESULTADO RESUMEN CÓLERA	120
TABLA 16. RESULTADO RESUMEN GASTROENTERITIS.....	121
TABLA 17. RESULTADO RESUMEN. MENINGITIS.....	122
TABLA 18. RESULTADO RESUMEN. NEUMONÍA	123
TABLA 19. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL - INTERSECCIÓN.....	125
TABLA 20. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL - UNIÓN.....	126
TABLA 21. DIFERENCIA CUANTITATIVA ASMA	127
TABLA 22. DIFERENCIA CUANTITATIVA RESFRIADO COMÚN.....	128
TABLA 23. DIFERENCIA CUANTITATIVA PANCREATITIS.....	129
TABLA 24. DIFERENCIA CUANTITATIVA SINUSITIS.....	129
TABLA 25. DIFERENCIA CUANTITATIVA TUBERCULOSIS.....	130
TABLA 26. DIFERENCIA CUALITATIVA ASMA	131
TABLA 27. DIFERENCIA CUALITATIVA RESFRIADO COMÚN	132
TABLA 28. DIFERENCIA CUALITATIVA PANCREATITIS.....	133
TABLA 29. DIFERENCIA CUALITATIVA SINUSITIS	134
TABLA 30. DIFERENCIA CUALITATIVA TUBERCULOSIS.....	135
TABLA 31. RESULTADO RESUMEN ASMA.....	136
TABLA 32. RESULTADO RESUMEN RESFRIADO COMÚN	137
TABLA 33. RESULTADO RESUMEN PANCREATITIS	138
TABLA 34. RESULTADO RESUMEN SINUSITIS	139
TABLA 35. RESULTADO RESUMEN TUBERCULOSIS	140
TABLA 36. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL - INTERSECCIÓN	141
TABLA 37. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL - UNIÓN.....	143
TABLA 38. RESULTADO BRONQUITIS. M1. INTERSECCIÓN	163
TABLA 39. RESULTADO BRONQUITIS. M1. UNIÓN.....	164
TABLA 40 RESULTADO BRONQUITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	165
TABLA 41. RESULTADO BRONQUITIS. M2 Y M3. UNIÓN	166
TABLA 42. RESULTADO CÓLERA. M1. INTERSECCIÓN	167
TABLA 43. RESULTADO CÓLERA. M1. UNIÓN.....	168
TABLA 44. RESULTADO CÓLERA. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	169
TABLA 45. RESULTADO CÓLERA. M2 Y M3. UNIÓN	170
TABLA 46. RESULTADO GASTROENTERITIS. M1. INTERSECCIÓN.....	171
TABLA 47. RESULTADO GASTROENTERITIS. M1. UNIÓN	172
TABLA 48. RESULTADO GASTROENTERITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	173
TABLA 49. RESULTADO GASTROENTERITIS. M2 Y M3. UNIÓN	174
TABLA 50. RESULTADO MENINGITIS. M1. INTERSECCIÓN	175
TABLA 51. RESULTADO MENINGITIS. M1. UNIÓN	176
TABLA 52. RESULTADO MENINGITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	177
TABLA 53. RESULTADO MENINGITIS. M2 Y M3. UNIÓN.....	178
TABLA 54. RESULTADO NEUMONÍA. M1. INTERSECCIÓN	179

TABLA 55. RESULTADO NEUMONÍA. M1. UNIÓN	180
TABLA 56. RESULTADO NEUMONÍA. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	181
TABLA 57. RESULTADO NEUMONÍA. M2 Y M3. UNIÓN.....	182
TABLA 58. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M1. INTERSECCIÓN	183
TABLA 59. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M1. UNIÓN	184
TABLA 60. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	185
TABLA 61. EXPERIMENTO 1. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. UNIÓN	186
TABLA 62. RESULTADO ASMA. M1. INTERSECCIÓN.....	187
TABLA 63. RESULTADO ASMA. M1. UNIÓN	188
TABLA 64. RESULTADO ASMA. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	189
TABLA 65. RESULTADO ASMA. M2 Y M3. UNIÓN	190
TABLA 66. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M1. INTERSECCIÓN	191
TABLA 67. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M1. UNIÓN.....	192
TABLA 68. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	193
TABLA 69. RESULTADO RESFRIADO COMÚN. M2 Y M3. UNIÓN	194
TABLA 70. RESULTADO PANCREATITIS. M1. INTERSECCIÓN	195
TABLA 71. RESULTADO PANCREATITIS. M1. UNIÓN.....	196
TABLA 72. RESULTADO PANCREATITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	197
TABLA 73. RESULTADO PANCREATITIS. M3 Y M3. UNIÓN	198
TABLA 74. RESULTADO SINUSITIS. M1. INTERSECCIÓN	199
TABLA 75. RESULTADO SINUSITIS. M1. UNIÓN.....	200
TABLA 76. RESULTADO SINUSITIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	201
TABLA 77. RESULTADO SINUSITIS. M2 Y M3. UNIÓN	202
TABLA 78. RESULTADO TUBERCULOSIS. M1. INTERSECCIÓN	203
TABLA 79. RESULTADO TUBERCULOSIS. M1. UNIÓN.....	204
TABLA 80. RESULTADO TUBERCULOSIS. M2 Y M3. INTERSECCIÓN.....	205
TABLA 81. RESULTADO TUBERCULOSIS. M2 Y M3. UNIÓN	206
TABLA 82. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M1. INTERSECCIÓN	207
TABLA 83. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M1. UNIÓN	208
TABLA 84. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. INTERSECCIÓN	209
TABLA 85. EXPERIMENTO 2. RESULTADO GLOBAL. M2 Y M3. UNIÓN	210

RESUMEN

En la presente tesis se presenta un estudio que gira entorno principalmente a la Inteligencia Colaborativa como principal característica de las aplicaciones de tipo Social Media y Web 2.0. Estos conceptos han sido combinados con áreas de estudio como la medicina, las tecnologías de Web semántica y los sistemas de soporte a la decisión médica (CDSS), con el objetivo de conocer la forma en cómo la Inteligencia Colaborativa logra afectar de manera positiva a la obtención de diagnósticos.

Las redes sociales en esta investigación, han sido identificadas como estructuras sociales conformadas por un grupo de personas cuyo objetivo principal es la participación en actividades comunes, la mayoría de las veces en busca de la solución a problemas. Este fenómeno de participación, compartición de información y colaboración ha sido tomado como base para la creación de redes sociales y demás plataformas colaborativas en Internet, en donde lo que destaca nuevamente es la arquitectura de participación de la que hacen uso. Un caso especial y que ha sido objeto de estudio de esta investigación son aquellas plataformas colaborativas con contenido médico.

La Web semántica ha jugado un papel fundamental en este estudio ya que permite la comunicación entre diferentes sistemas para compartir información, es decir, la interoperabilidad entre sistemas. También facilita la representación del conocimiento en diferentes áreas y finalmente también permite realizar procesos de inferencia cuando se aplica a sistemas expertos.

Con base en los conceptos anteriores y respaldada en el concepto de Wisdom of the crowd (la sabiduría de las multitudes), esta investigación plantea la definición de tres métodos de consenso que han sido aplicados a bases de conocimiento con contenido médico. Para la evaluación de los resultados se han utilizado las métricas comunes a los CDSS siguiendo los criterios propuestos por Kaplan en las diferentes bases de conocimiento consensuadas, las cuales se han comparado con los valores en las mismas métricas generadas por un CDSS tradicional que ha sido tomado como estándar de oro.

Finalmente, esta tesis presenta las mejoras que la Inteligencia Colaborativa aporta a la medicina en términos de exactitud de los diagnósticos y las ventajas que esta representa cuando se aplica a estos sistemas.

ABSTRACT

In this thesis a study that primarily revolves around the main characteristic Collaborative Intelligence of Social Media type applications and Web 2.0 is presented. These concepts have been combined with areas of study such as medicine, Semantic Web technologies and Clinical Decision Support Systems (CDSS) with the aim to know the way how the Collaborative Intelligence does positively affect the development of diagnostics.

In this research, social networks have been identified as social structures formed by a group of people whose main objective is the participation in common activities, most of the time looking for the solution of problems. This participation, collaboration and information sharing phenomenon has been taken as the basis for social networking and other online collaborative platforms, where it is again highlighting the participation architecture that those systems use. A special case has been studied in this research are those with medical content collaborative platforms.

The Semantic Web has played a key role in this study because it allows communication between different systems to share information, ie interoperability between systems. It also facilitates knowledge representation in different areas and finally also allows inference processes when it is applied to expert systems.

Based on the above concepts and supported by the concept of Wisdom of the crowd, this research presents the definition of three consensus methods that has been applied to knowledge bases with medical content. For evaluating the results common metrics to CDSS were used following the criteria proposed by Kaplan in the different consensus knowledge bases. The results have been compared with the same metrics values generated by a traditional CDSS which is taken as the gold standard.

Finally, this thesis presents the improvements that the Collaborative Intelligence brings to medicine in terms of diagnostic accuracy and the advantages that this represents when applied to this kind of systems.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la medicina es uno de los campos con mayor demanda en términos profesionales. Es una realidad que en cuestiones de salud las personas siempre tratan de encontrar al mejor doctor y el mejor servicio en términos de rapidez y efectividad, y de igual forma tratan de encontrar la opinión de más de un médico para un caso clínico en concreto (Huddle, 2005). Igualmente otro factor común es que cuando a una persona se le presenta un problema de salud, normalmente trata de encontrar algo de información en Internet acerca de su padecimiento con el objetivo de conocer más. En algunos casos, los pacientes tratan de conocer gente que tenga o haya tenido el mismo problema y que ya haya encontrado una solución o un tratamiento (Horwitz, Morgenstern & Berkman, 1985), ya que este tipo de información suele ayudar al paciente a tener más información sobre su dolencia.

En el campo tecnológico, como lo describen (Kamel & Weelert, 2007), las aplicaciones Web 2.0 refuerzan la colaboración e interacción entre los humanos gracias a que generan un mayor sentimiento de pertenencia a un entorno social. Esto en cierta medida ayuda a la motivación porque disminuye el sentimiento de aislamiento, el cual puede suponer una barrera importante. Estos mismos autores afirman que otra característica de los entornos basados en Web es que son útiles para obtener ayuda de otras personas al permitir una participación más amplia por parte de los usuarios, al poder ser escritores y lectores al mismo tiempo.

En este mismo contexto, la inteligencia colectiva es otro de los conceptos asociados a la presente tesis. (Heylighen, 1999) define la inteligencia como la habilidad para resolver problemas, y la inteligencia colectiva o inteligencia colaborativa como la habilidad que tiene un grupo para resolver más problemas que sus miembros individuales. El autor afirma que se puede decir que un grupo presenta inteligencia colaborativa si al trabajar juntos sus miembros pueden encontrar más o mejores soluciones que el total de todas las soluciones que podrían encontrar sus miembros trabajando de forma individual. Finalmente, el autor opina que el principal problema que se identifica es el conocido como problema de los juegos de poder. En los juegos de poder cada miembro desea ser reconocido como el más inteligente o el más importante. La solución a esto es dividir al grupo completo en grupos más pequeños paralelizando sus actividades, implicando que los grupos más pequeños mantengan contacto para compartir información. En este mismo contexto se encuentra el concepto de “The Wisdom of the Crowds” (WOC, La sabiduría de los grupos) definido como un proceso que toma en cuenta la opinión colectiva de un grupo de individuos en lugar de la de un solo experto para responder alguna pregunta.

Volviendo al concepto de los entornos sociales, existen diferentes tipos de aplicaciones que responden a las características de Web social como pueden ser los wikis, foros, blogs, podcast y rss, así como muchas páginas Web que permiten a sus visitantes escribir sus comentarios acerca de prácticamente cualquier tema. Este tipo de aplicaciones se pueden encontrar descritas en los trabajos de (Barsky, 2006) y (Rohani & Hock, 2010). Todos estos sitios Web descritos en sus trabajos se han combinado con el tema de la salud creando el concepto de e-health definido por Eysenbach en 2001 de la siguiente manera: *“E-health es un campo emergente en la intersección entre informática médica, salud pública y negocios haciendo referencia a servicios de salud e información entregada o mejorada a través de Internet y tecnologías relacionadas. En un sentido más amplio, el término caracteriza no solamente un desarrollo tecnológico, sino también un estado mental, una forma de pensar, una actitud y un compromiso para la red y el pensamiento mundial, de mejorar el cuidado de la salud local, regional y mundialmente utilizando tecnologías de la información y la comunicación”*.(Oh et al., 2005)

Otro interesante trabajo es el desarrollado por (Luo & Najdawi, 2004), en el que se puede encontrar una lista de portales de Internet donde los pacientes pueden buscar información acerca de temas de salud. Los autores argumentan que un portal de Internet con información sobre salud debe tener: 1) un catálogo de información de salud, 2) un motor de búsqueda, 3) un sistema de personalización y 4) una red de comunidades.

Dentro del contexto del área médica, se debe enfatizar que existen una gran cantidad de términos que es necesario manejar, generándose un problema cuando dos palabras diferentes se utilizan para describir el mismo concepto. Para hacer frente a este problema, esta investigación hace uso de SNOMED-CT, la cual es una terminología médica integral multilingüe ampliamente usada en la actualidad a nivel internacional, sobre todo en el uso de historias clínicas electrónicas (Spackman, Campbell, & Coté, 1997), donde gana especial importancia al permitir anotar gran variedad de conceptos referidos a la historia de un paciente. Sin embargo, a pesar de que SNOMED-CT tiene cierta estructura semántica que permite relacionar conceptos entre sí, no proporciona información suficiente para ofrecer anotaciones sobre las relaciones existentes entre los conceptos médicos involucrados en el diagnóstico, anotaciones que son esenciales para la presente tesis.

Basado en los conceptos de Inteligencia Colaborativa, E-Health y WOC, lo que se pretende en la presente tesis es determinar el grado de influencia que pueden tener los procesos de adquisición de conocimiento biomédico por medio de las técnicas asociadas a estos términos. En otras palabras, esta investigación aborda particularmente el problema del desarrollo de sistemas de diagnóstico médico mediante el uso de tecnologías informáticas con el objetivo de generar sistemas de soporte a la decisión médica lo más exactos posibles, a través de un esquema que permita la obtención de dichos diagnósticos diferenciales mediante procesos basados en inteligencia

colaborativa y métodos de consenso, en donde, por una parte el área médica aporta el conocimiento referido a los conceptos que están relacionados con los factores que influyen en el proceso de diagnóstico y por otra, el área de la informática aporta a esta investigación las tecnologías necesarias para el almacenamiento y procesamiento de este conocimiento.

En esta tesis se presenta la información recogida como parte de la investigación tras haber analizado algunas fuentes de información de entornos colaborativos en el dominio médico, principalmente portales de Internet. En este análisis se ha encontrado que si bien estos proporcionan información y modos de colaboración, estos carecen de ciertos elementos como por ejemplo, proporcionar un soporte a la toma de decisión diagnóstica, o aplicar métodos de consenso entre los usuarios cuyo conocimiento y aportaciones enriquecen la plataforma.

Lo que se persigue con esta tesis, realizada dentro del programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Informática, es investigar de qué forma la inteligencia colaborativa afecta el nivel de exactitud de los diagnósticos médicos generados por un sistema de soporte a la decisión. Para ello se ha hecho uso de tecnologías semánticas en lo que se refiere al almacenamiento, representación y procesamiento de la información individual, usando el esquema previamente publicado por (Rodríguez-González et al., 2012). El objetivo es generar una base de conocimiento común a través de algoritmos de consenso que hagan uso del conocimiento individual proporcionado por expertos en el dominio.

Para alcanzar los resultados se han definido tres métodos de consenso que se explican a detalle en esta tesis. En términos generales lo que se hace es entregar a cada médico dentro del entorno colaborativo su propia base de conocimiento y solicitarle que haga las modificaciones que considere pertinentes. Una vez que todos los médicos hayan hecho sus cambios se analizarán en conjunto para encontrar las coincidencias entre las bases de conocimiento, y que se puedan considerar suficientes para conformar una base de conocimiento común, a la que se le ha llamado base de conocimiento consensuada. Las pruebas consisten en evaluar los mismos casos clínicos utilizando esta base de conocimiento consensuada y comparando los resultados con los obtenidos al utilizar la base de conocimiento original.

El documento de la presente tesis comienza con un estudio sobre el estado del arte, en donde se describen los términos y conceptos relacionados con las aplicaciones Web 2.0, su evolución hacia la Web semántica y su vínculo con la medicina. Posteriormente se tratan temas relacionados con las formas de representar el conocimiento médico. En la siguiente sección se describe de forma detallada el problema que se ha observado, así como los objetivos, la metodología usada y la presentación de las hipótesis de investigación. Posteriormente se presenta la arquitectura que obedece al entorno colaborativo que se ha utilizado como herramienta para la obtención de los datos, el procesamiento de los mismos y la generación de los resultados. En las secciones finales

se presentan los resultados, la validación de los datos y de las hipótesis para poder por último presentar las conclusiones.

2. ESTADO DEL ARTE

Esta sección abarca la descripción de todos los conceptos y aspectos teóricos que rodean y que forman el contexto de esta investigación. Se comienza por hacer una descripción junto con una clasificación de los diferentes tipos de redes sociales, en la cual se destacan las características que las definen. Posteriormente, se hace referencia a la Web 2.0, en donde se hace una descripción general del concepto y se recalca como característica principal la colaboración entre los miembros o usuarios de este tipo de aplicaciones. Seguidamente se aborda el tema de la Web semántica, el cual es el concepto tecnológico que se ha utilizado como uno de los temas centrales de este estudio junto con el concepto de E-Health 2.0 y la inteligencia colaborativa cuya descripción se hace en las dos secciones siguientes. En la sección de E-Health 2.0 se explica cómo está vinculado el tema de la medicina y el cuidado de la salud con los avances tecnológicos en plataformas o aplicaciones de tipo Web2.0 en donde lo que destaca es precisamente la colaboración, con el objetivo de alcanzar u obtener de esta colaboración mayor conocimiento, a lo que se le conoce como inteligencia colaborativa. Finalmente se hace referencia a algunos trabajos que se encuentran en la categoría de Sistemas de Soporte a la Decisión Médica (CDSS). Es en esta última sección en donde se describe el funcionamiento de estos sistemas y la forma como se vinculan con la presente investigación.

2.1 REDES SOCIALES (DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN)

Las redes sociales son entornos muy utilizados hoy en día por prácticamente todos los usuarios de Internet ya que abarcan una gran cantidad de temas, desde aquellos orientados al entretenimiento hasta los que se encuentran enfocados a cuestiones científicas, siempre con el objetivo principal de compartir información mediante la participación de los usuarios. Es en ellos, en los usuarios, en los que este tipo de plataforma basa su funcionamiento y define su valor agregado en comparación de la estructura anterior (Web 1.0) la cual es más estática y en donde existe uno o pocos autores para cada sitio Web y en donde los demás usuarios se encuentran limitados a ser lectores. En este apartado se dará una descripción, basada en el trabajo de varios investigadores, de lo que son las redes sociales, cuáles son las características que definen a una aplicación para ser considerado de este tipo y la clasificación existente entre ellas.

En el trabajo de (McLean, Richards & Wardman, 2007) se proporciona una definición sobre las características y clasificación de las redes sociales y su relación con el campo de la medicina. En este artículo se definen las redes sociales como un término que

describe a las aplicaciones colaborativas de Internet, argumentando que la principal diferencia con la Web tradicional es la participación de los usuarios en lo relacionado con el desarrollo y administración del contenido, lo cual a su vez produce un incremento en el valor de la información. En dicho artículo, clasifican las aplicaciones de las redes sociales en RSS (Really Simple Syndication), blogs, wikis y podcast, y afirman que la característica que distingue a las aplicaciones de este tipo es el concepto del trabajo social en línea, es decir, el uso de las tecnologías de Internet para incrementar el valor de la información a través de la participación masiva. Finalmente argumentan que la comunidad médica necesita estar al día en estas tecnologías por la importancia de su papel en cuanto a proporcionar información médica en cualquier momento y en cualquier sitio.

En el trabajo de (Kamel, Maramba & Wheeler, 2006) se puede encontrar una breve descripción de lo que son los wikis, blogs y podcast. En este artículo, un wiki es definido como un sitio Web colaborativo en el cual los usuarios pueden editar el contenido con el objetivo de cambiarlo y actualizarlo. Por lo tanto, en los wikis se puede obtener información y conocimiento y colaborar con otras personas. Igualmente los autores definen los blogs como sitios Web en donde el contenido se encuentra ordenado de forma cronológica y puede ser escrito por una sola persona o por un grupo. Este contenido puede incluir enlaces a otros sitios, comentarios e incluso imágenes. Los podcast son otro medio para compartir información en formato de audio o video que permite a los usuarios escucharlos o verlos en cualquier sitio a través de un lector de estos formatos.

Otro tipo de red social es presentada por (Rohani & Hock, 2009). En su trabajo se puede encontrar la descripción de un foro como una plataforma que permite a sus usuarios intercambiar sus experiencias particulares, información y consejos, de tal forma que es un medio en línea entre múltiples usuarios que utilizan texto y ocasionalmente voz. De la misma forma se pueden diferenciar varios tipos de redes sociales. Por ejemplo, hay redes sociales de uso general como Facebook, Twitter, Flickr o Youtube, otras de tipo profesional como linkedIn, Xing, Viadeo y otras que se dedican a ofrecer servicios como encontrar pareja, noticias, blogging, etc.

En resumen, las redes sociales tienen como característica principal la participación de sus miembros. A nivel informático se pueden representar por medio de diferentes tipos de aplicaciones y además se pueden diferenciar por el tipo de servicio que prestan, ya sea de uso general, profesional, etc. En otras palabras, una red social representa una estructura social conformada por un conjunto de usuarios que pueden ir desde individuos hasta grupos u organizaciones, y en donde cada uno de estos usuarios se encuentra conectado con los demás por medio de algún tipo de lazo que define una relación ya sea de amistad, de trabajo, familiar, etc. El objetivo principal de este tipo de estructuras es la compartición de información basada en la participación de sus miembros. Es necesario resaltar que las redes sociales existen en sí mismas definidas por estructuras sociales, es decir, no es necesario que se vean representadas por alguna

aplicación o plataforma informática, pero gracias a las facilidades y ventajas que presenta Internet, hoy en día muchas redes sociales se pueden encontrar en línea en las diferentes formas que se han mencionado anteriormente en este mismo apartado, donde la participación de los usuarios puede ir desde la forma más simple, como dejar un comentario en un blog o participar en un debate en un foro, hasta formas más complejas como compartir fotos y videos, información acerca de perfiles profesionales e incluso contactar a otras personas para compartir información de temas científicos, políticos, de salud, educación, etc.

2.2 SOCIAL MEDIA

El término weblog, que posteriormente fue cambiado a “blog” se creó a principios de los años 60. A partir de esa época y con la disponibilidad de acceso a Internet de alta velocidad el concepto fue adquiriendo mayor popularidad conduciendo a la creación de sitios de redes sociales tal como MySpace (2003) y Facebook (2004) que finalmente acuñaron el término “Social Media” (Kaplan & Haenlein, 2010). En ese mismo artículo los autores mencionan que existe aún confusión entre términos como Web 2.0, Contenido Generado por el Usuario (UGC) y Social Media, pero de igual forma dicen que la diferencia consiste en que la Web 2.0 es un término que describe una nueva forma en la cual los desarrolladores de software y usuarios finales comenzaron a utilizar la Web; es decir, como una plataforma en donde el contenido y las aplicaciones ya no son creadas y publicadas por individuos, en vez de esto, son modificadas constantemente por todos los usuarios participando de forma colaborativa. Los autores consideran a la Web 2.0 como la plataforma para la evolución del Social Media. Por otro lado, UGC puede ser visto como la suma de todas las formas en las cuales la gente hace uso de Social Media. El término es usualmente aplicado para describir las diferentes formas de contenido que se encuentra a disposición pública y que es creado por usuarios finales. Finalmente Social Media es un conjunto de aplicaciones en Internet que se basan en los fundamentos ideológicos y tecnológicos de la Web 2.0, y que permiten la creación e intercambio de contenido generado por el usuario.

Por su parte (Mangold & Faulds, 2009) dicen que el surgimiento de Social Media ha hecho posible que una persona se comunique con cientos e incluso miles de personas para compartir información sobre productos y las compañías que los venden, y con esto aumentar grandemente el impacto de las comunicaciones de cliente a cliente en el mercado. En su trabajo ellos mencionan que el concepto Social Media abarca una amplia gama de medios en línea que incluyen blogs, foros de discusión, salas de chat, correos de cliente a cliente, foros de servicio, paneles de discusión, sitios Web de redes sociales, etc. En ese mismo artículo los autores mencionan que el siglo 21 está siendo testigo de una explosión de mensajes basados en Internet que son transmitidos a través de estos medios. Esto se ha convertido en un factor importante para influir en diversos aspectos del comportamiento de los consumidores, incluida la sensibilización, adquisición de información, opiniones, actitudes, comportamiento de compra, y comunicación y evaluación posterior a la compra.

En el apartado anterior se definió el concepto de redes sociales, término que ha sido definido como una estructura social y se ha hecho hincapié en que este tipo de estructuras existen en sí mismas como parte de las relaciones sociales cotidianas de las que formamos parte como individuos o como grupos. En esta sección se aborda el tema de la Web 2.0, el cual, como se verá, se encuentra estrechamente relacionado con las redes sociales, se proporcionan algunas definiciones acerca de este término y se explica a detalle cuáles son las características que determinan que una aplicación sea catalogada como de este tipo.

En el artículo escrito por (Oreilly, 2005) el propio autor ha definido la Web 2.0 como una red vista como una plataforma que abarca todos los dispositivos conectados. Además, afirma que las aplicaciones Web 2.0 son aquellas que logran obtener el mayor número de ventajas de esa plataforma entre las cuales se pueden destacar la entrega y uso del software como un servicio que se encuentra en actualización constante y el cual consume y combina datos de múltiples fuentes. Estas fuentes incluyen usuarios individuales que proporcionan sus propios datos y servicios de forma que permiten su combinación con otros creando efectos de red a través de una arquitectura de participación. Es decir, se trata de una red de dispositivos que va desde los servidores, los ordenadores de escritorio, los portátiles, hasta los dispositivos móviles como smartphones, ipads y tablets, que pueden hacer uso de este tipo de aplicaciones para permitirles a los usuarios enviar y recibir información en un entorno de colaboración. Esta definición es respaldada en el artículo que presentan (Kamel & Wheeler, 2007) en el cual los autores dicen que las aplicaciones Web 2.0 refuerzan la colaboración y la interacción de las personas gracias a la sensación de pertenecer a un entorno social y también al beneficio de la motivación debido a que disminuye el aislamiento, lo cual puede representar una importante barrera si lo que se persigue es precisamente la colaboración y el trabajo en grupo. Además, este artículo afirma que otra característica es que los entornos basados en Web son útiles para obtener ayuda y guía de otras personas, principalmente expertos en algún dominio, quienes pueden jugar un papel de moderadores, directores o líderes de grupo. Finalmente, otra interesante conclusión de este artículo es que la Web 2.0 permite mayor participación porque los usuarios son, al mismo tiempo, lectores y escritores.

En este contexto se puede ver a la Web 2.0 como un conjunto de principios y prácticas en donde el principio central es aumentar el poder de la Web como medio masivo de divulgación de información, al fortalecer la inteligencia colaborativa. En otras palabras, con la Web 2.0 la información en Internet deja de tener un sentido unidireccional, en donde hay usuarios que escriben y otros usuarios que leen, y pasa a tomar un sentido bidireccional, en donde cada usuario puede ser productor y consumidor de información al mismo tiempo.

El sentido de la bidireccionalidad de la información como resultado del surgimiento de la Web 2.0 también es mencionado y defendido en el trabajo de (Lee & Lan, 2007), en el cual los autores afirman que el concepto de Web 2.0 nació en la conferencia llamada “Web 2.0 Conference” realizada en el año 2004 en San Francisco, California¹, y después de una extensa discusión y lluvia de ideas se lograron definir algunas características. Este artículo comenta que a través de la plataforma Web 2.0 la administración tradicional del conocimiento como un repositorio centralizado ha pasado a tener un enfoque más interactivo y conversacional, ya que el conocimiento no es proporcionado únicamente por expertos aislados, sino también por otro tipo de usuarios. En este artículo se argumenta que la Web 2.0 incorpora un mecanismo de interacción de dos vías que permite a los usuarios contribuir con contenidos de conocimiento en dominios compartidos. Además, es posible mantener el conocimiento actualizado en todo momento. Los autores proporcionan la siguiente lista de características que ellos consideran como objetivos de los contenidos de conocimiento desarrollados a través de la Web 2.0:

- **Contribución:** Todo usuario de Internet tiene la oportunidad de proporcionar su conocimiento de forma libre en los dominios relevantes.
- **Compartición:** El conocimiento se encuentra disponible de forma libre para otros. Los mecanismos de seguridad se deben enfocar en permitir la compartición de conocimiento a través de miembros legítimos en comunidades específicas.
- **Colaboración:** El conocimiento es creado y mantenido de forma colaborativa por proveedores de conocimiento. Los usuarios de Internet que participan en el conocimiento pueden tener conversaciones como una forma de interacción social.
- **Dinamismo:** El conocimiento se actualiza constantemente para reflejar el cambio en el entorno.
- **Dependencia:** Las contribuciones de conocimiento deberán estar basadas en la confianza entre los participantes y expertos que la proporcionen.

Otro conjunto de características que describen a la Web 2.0 se encuentran en la aportación del trabajo de (Rollett et al., 2007), en el cual se describe la Web 2.0 como un conjunto de características clave. El concepto han ido ganando fuerza a partir de la conferencia “Web 2.0 2006” organizada por O’Reilly, la cual tuvo su primera edición en el año 2004, y ha sido adoptado por mucha gente, quienes hoy en día se consideran a sí mismos como la comunidad Web 2.0. Gracias a su naturaleza colaborativa y sus métodos de comunicación el concepto Web 2.0 es ambiguo e incluso polimórfico, ya que es entendido por diferentes personas de diferentes formas. Ellos destacan las

¹ <http://www.Web2con.com/Web2con/>

siguientes ocho características esenciales, a las que llaman patrones de diseño, que definen a la Web 2.0:

- La cola larga (the long tail): como patrón de diseño significa que no son los productos o artículos más vendidos o los temas más populares quienes forman parte de la mayoría de la Web sino una gran cantidad de temas especializados y pequeñas comunidades.
- Está centrada en los datos: En las aplicaciones Web 2.0 los datos tienen mucho más valor que una interfaz de usuario bien diseñada. Otros conceptos que están fuertemente relacionados con la Web 2.0 son por ejemplo “más es menos”, en donde la interfaz de usuario es reducida al mínimo necesario, y “simplicidad y eficiencia” que establece que estos dos conceptos son cruciales para el éxito de las aplicaciones.
- Los usuarios agregan valor: Este es otro de los valores principales de la Web 2.0 que significa que los usuarios están integrados en el proceso de creación de contenido, y por lo tanto agregan valor a ese proceso y a sus resultados. Los conceptos relacionados con este patrón de diseño son “producción personal” que significa que el contenido no es creado por una sola autoridad sino por un grupo distribuido de personas, “co-creación” generalmente entendida como muchas personas trabajando al mismo tiempo en la misma actividad creativa, “etiquetado social” (social tagging) que consiste en agregar palabras clave que no se encuentran en un vocabulario o fuente restringido. Este etiquetado lleva a una evolución constante de estructuras llamadas folksonomías. El uso de los datos provenientes de los usuarios provocan que las aplicaciones Web 2.0 fortalezcan la “inteligencia colaborativa” (también conocido como “la sabiduría de las multitudes” o “conocimiento acumulado”), lo que significa que a través de las contribuciones de mucha gente, se puede obtener un mayor cúmulo de conocimiento.
- Los efectos de la red por defecto: esto significa que el simple hecho de consumir los servicios en la red puede significar una contribución ya que mientras más se utilice un servicio o recurso más valor tiene para los usuarios.
- Algunos derechos reservados: Esto significa que el contenido de la Web 2.0 no está protegido por condiciones tan severas como las de la industria de la música y por lo tanto permite la reutilización del contenido. Esto ofrece una recombinación legal que consiste en republicar contenidos combinados que tienen como origen diferentes fuentes.
- Versión beta perpetua: Las aplicaciones Web 2.0 no llevan un control de versiones definida por una numeración, en cambio, se encuentran en una versión beta constante, en continua evolución.

- Cooperación, no control: El hecho de proporcionar a los usuarios una plataforma y facilidades para compartir contenido, colaborar, comunicarse y publicar detalles acerca de su vida, intereses, comportamientos, lo cual es típico en el software social, implica que los usuarios tengan que confiar en los proveedores de software.
- Software en más de un dispositivo: La Web 2.0 debe estar disponible no solo a través de software de escritorio sino también debe poder ser utilizada en todos los demás dispositivos, como por ejemplo, móviles, tablets y demás.

Finalmente se puede llegar a la conclusión de que el término Web 2.0 se refiere a aquellos sitios o aplicaciones Web que por sus características facilitan la compartición de información entre sus usuarios debido a que su diseño se encuentra enfocado en ellos. En otras palabras, un sitio catalogado como Web 2.0 debe permitir a sus usuarios interactuar y colaborar entre ellos como creadores del contenido. Estos sitios basan su funcionamiento y estructura en las redes sociales y las representan a nivel informático en Internet, con lo cual permiten la participación de un mayor número de usuarios ubicados en diferentes puntos geográficos.

2.4 WEB SEMÁNTICA

Internet desde sus inicios ha tenido mucho éxito, principalmente por ser un medio masivo que supera cualquier barrera geográfica y poner a disposición de prácticamente todo el mundo información que por otros medios es totalmente imposible tener acceso. Como fenómeno, Internet ha sufrido una evolución que ha ido desde la Web 1.0 que presenta la información en forma de texto e imágenes pero que solamente permite la lectura de los mismos, pasando por la Web 2.0 en donde la característica principal es la participación de los miembros, hasta la Web 3.0 que propone la participación como usuarios de la Web no solo de personas sino de los propios ordenadores.

El objetivo de esta sección es definir a la Web semántica, con énfasis en sus características principales, sus orígenes y las diferentes formas que provee para representar la información.

El término Web semántica fue acuñado por Tim Berners-Lee quien definió la Web semántica como “la web de datos que pueden ser procesados directa e indirectamente por los ordenadores” (Berners-Lee, Hendler & Lassila, 2001). En ese mismo artículo los autores dicen que la Web semántica brinda estructura a los contenidos en las páginas Web dotándolos de significado y creando un ambiente en donde agentes de software que se mueven de página en página pueden realmente desempeñar tareas diseñadas para los usuarios. Igualmente afirman que la Web semántica no es una separación de la Web sino una extensión de como se conoce actualmente, en la cual, a la información se le da

un significado bien definido que favorece la colaboración entre ordenadores y personas. Además comentan que la principal propiedad de la Web es su universalidad, que el poder de un enlace de hipertexto es que “todo se puede relacionar con cualquier cosa”. En su trabajo ellos también hacen mención de las dos más importantes tecnologías para desarrollar la Web semántica, los lenguajes XML y RDF. Finalmente mencionan que la Web semántica permitirá a los ordenadores comprender documentos y datos semánticos y no discursos o escritos humanos.

De igual forma, como parte de los trabajos más importantes con referencia a la Web semántica se puede citar el trabajo de (Guistini, 2007) quien define a la Web semántica como la Web que tiene la característica de permitir a los ordenadores comunicarse entre sí con el objetivo de desempeñar las tareas necesarias para que las personas puedan hacer su trabajo. Esto quiere decir que si la Web 2.0 agrega como característica principal la interacción entre usuarios, la Web 3.0 aporta como característica a este proceso evolutivo de la Web la capacidad de interacción entre ordenadores, pero para lograr este propósito es necesario que la información se encuentre en formatos entendibles por los propios ordenadores.

Otro de los trabajos destacados con relación a la Web semántica es el presentado por (Miller & Swick, 2003). En su investigación los autores describen la Web semántica como una extensión de la Web actual (Web 2.0) en donde el significado de la información es clara y explícitamente enlazado desde la propia información, permitiendo una mejor colaboración entre ordenadores y humanos. En otras palabras, la Web 3.0 añade significado a los datos que se encuentran en la Web al dotarlos de estructuras en donde lo que se destaca son las relaciones entre estos datos. Los mismos autores mencionan que la Web puede alcanzar su máximo potencial si se convierte en un sitio en donde los datos puedan ser compartidos y procesados por herramientas automáticas así como por personas. Además, agregan que la Web semántica fomenta y fortalece la reutilización de grandes cantidades de datos poniéndolos a disposición para propósitos para los cuales no fueron creados. Los autores creen que la Web semántica permitirá principalmente dos cosas. 1) Que la información surja en forma de datos, de forma que los programas no necesiten analizar o adivinar de qué tipo de formato se trata, y 2) que las personas escribir o crear ficheros que expliquen a un ordenador la relación entre los diferentes conjuntos de datos. De igual forma argumentan que cuando las relaciones entre los datos sean completamente accesibles por los ordenadores entonces éstos serán capaces de auxiliar a las personas a encontrar estas relaciones e interpretar los datos para diferentes propósitos. Concluyen señalando que la Web semántica proporciona una infraestructura que permite no solo a las páginas Web, sino también a las bases de datos, servicios, programas, sensores y dispositivos personales tanto consumir como producir datos para la Web.

Como se ha visto hasta ahora, la aportación de la Web 3.0 al proceso evolutivo de la Web es el hecho de hacer que los datos que ya se encuentran disponibles en la Web sean entendibles por los ordenadores, y que para que esto sea posible es necesario que estos datos se encuentren estructurados y relacionados.

Los lenguajes más comúnmente utilizados para dotar de significado a los datos son XML y RDF, descritos en (Decker et al., 2000). En su trabajo los autores afirman que la Web desde sus inicios ha hecho uso de una gran variedad de estándares, los cuales han garantizado la interoperabilidad en los diferentes niveles, y que hasta el momento la Web había sido diseñada para que la información sea procesada directamente por personas, pero que esta nueva generación llamada Web semántica permite que esta información sea procesable por los ordenadores. En otras palabras, la Web semántica habilita servicios inteligentes que ofrecen mayor funcionalidad e interoperabilidad. Ellos agregan que la Web semántica solo es posible cuando los niveles de interoperabilidad ya han sido establecidos y que para esto es necesario la definición de estándares. Los esfuerzos más importantes para responder a esta necesidad que han sido aportados por la W3C son los lenguajes XML/XML Schema y RDF/RDF Schema. Ellos afirman que aunque ambos estándares obedecen a las necesidades de estructurar la información para cumplir con los objetivos de la Web semántica, XML solamente se enfoca a la estructura de los documentos, sin embargo RDF facilita aún más la interoperación debido a que proporciona un modelo de datos que puede ser extendido para abordar técnicas de representación de ontologías, las cuales pueden jugar un papel crucial al permitir que el conocimiento basado en Web sea procesado, compartido y reutilizado y que son generalmente definidas como conceptualizaciones formales para compartir conocimiento de dominios particulares y que proporcionan un conjunto de tópicos de entendimiento comunes que pueden ser comunicados entre personas y sistemas de información.

En el artículo que presenta (Klein, 2001) se da la siguiente descripción más detallada de lo que son los lenguajes XML y RDF y sus esquemas. El autor afirma que los lenguajes para la representación de datos y conocimiento son un aspecto muy importante para la Web semántica, y que a pesar de que existen muchos, la mayoría de ellos están basados en XML o lo utilizan como sintaxis. A continuación se presentan las definiciones que el autor presenta en su artículo.

XML (eXtensive Markup Language): Se trata de una especificación para documentos legibles por los ordenadores. Las marcas describen el orden de los datos en el documento y su estructura lógica y hacen que la información de alguna forma se auto-describa. XML se parece mucho al lenguaje HTML (HyperText Markup Language), la diferencia es que XML es de hecho un metalenguaje, es decir, un mecanismo para representar otros lenguajes de una forma estandarizada. En otras palabras, XML solo proporciona un formato de datos para documentos estructurados sin especificar un vocabulario. Esto permite a XML ser universalmente aplicable ya que permite definir etiquetas personalizadas para un tipo de documentos ilimitado. Las principales entidades de marcas en XML son llamadas *elementos* y consisten básicamente en una etiqueta que abre y otra que cierra. XML no aplica una interpretación específica de los datos, la única interpretación es que el código XML contiene nombres de entidades con sub-entidades y valores, es decir, cada documento XML está formado por un de

etiquetas ordenado. Esto resulta tanto una fortaleza como una debilidad de XML, la fortaleza consiste en que al ser extensible permite codificar estructuras de cualquier tipo de datos, la debilidad es que no especifica la semántica y uso de estos datos, por lo que las partes que utilicen XML para el intercambio de datos deben definir de antemano un vocabulario en el cual se pongan de acuerdo en el uso y significado de cada etiqueta para evitar la ambigüedad.

XML Schema: Para lograr llegar a acuerdos sobre la definición de un vocabulario que permita la comunicación entre aplicaciones se puede recurrir a los DTDs (Document Type Definition) y a los XML Schemas. A pesar de que estos no definen el significado de los datos, sí especifican el nombre de los elementos y atributos, es decir, el vocabulario, y su uso en los documentos. Los DTDs proporcionan solamente la estructura simple, entre otras cosas, los elementos, los atributos y los sitios del documento en donde se pueden usar. Los XML Schemas tienen las siguientes ventajas considerables con respecto a los DTDs.

- Es un mecanismo que proporciona una gramática más rica para definir los elementos de una estructura, por ejemplo, permite especificar valores por defecto.
- Permite establecer tipos de datos
- Proporciona mecanismos de inclusión y derivación, lo cual permite la reutilización de la definición de elementos comunes y adaptarlos a definiciones existentes para nuevos entornos.

RDF (Resource Description Framework): Es un mecanismo para decir algo acerca de los datos. Como su nombre lo indica, no es un lenguaje sino un modelo para representar datos acerca de cosas en la Web. A estos datos sobre datos se les llama *metadatos*, y las cosas son *recursos* de un vocabulario RDF. El modelo de datos básico de RDF es simple: junto con los recursos contiene propiedades y sentencias. Una propiedad es un aspecto específico, características, atributos o relaciones que describen un recurso. Una sentencia consiste en un recurso específico con una propiedad y además el valor de esa propiedad para ese recurso. Una descripción RDF es una lista de triplas en donde cada tripleta tiene un objeto (recurso), un atributo (propiedad), y un valor (recurso o texto). Tal como en el caso de XML, los RDF no definen la semántica aplicada a un dominio cualquiera, solamente proporciona un mecanismo independientemente del dominio para describir los metadatos.

RDF Schema: La definición de propiedades dependientes del dominio y su semántica requiere de mayores cosas, es aquí en donde intervienen los esquemas RDF (RDF Schema), los cuales proporcionan un mecanismo para definir propiedades dependientes del dominio y clases de recursos a los cuales se les pueden aplicar dichas propiedades. Las entidades de modelado básicas de un esquema RDF son las definiciones de *clases* y las sentencias de *subclase* que juntas definen la *herencia de clases*, la definición de *propiedad* y sentencias *sub-propiedad de* para construir la *jerarquía de propiedades*,

sentencias de *dominio* y *rango* para restringir las posibles combinaciones de propiedades y clases, y las sentencias de *tipo* para declarar recursos como instancias de una clase específica.

Como se ha mencionado hasta ahora en este apartado, el objetivo de la Web semántica es dotar de significado a la información contenida en la Web, y que además esta información sea entendible no solo para las personas sino también para los ordenadores. Es por esto que se han utilizado lenguajes y esquemas como los mencionados anteriormente, con la finalidad de definir vocabularios comunes a las diferentes aplicaciones.

De acuerdo con (Mitschick, Winkler & Meißner, 2007), las colecciones de información comprenden el conocimiento que representa un contexto o un punto de vista que puede ser grupal o individual, es decir, representa el conocimiento de las personas. Además, es necesario poder administrar estas colecciones de forma que sean legibles para las personas, con la finalidad de que exista un entendimiento entre las personas dueñas de la información (productores) y las personas que consultan la información (consumidores). Sin embargo, para dotar a las aplicaciones informáticas de la capacidad de procesar y visualizar la información basada en el conocimiento de las personas se necesita un apropiado procesamiento que describa esta información por parte de los ordenadores. Ellos afirman que las tecnologías de Web semántica proveen las oportunidades de crear y compartir tales descripciones basadas en ontologías de forma estandarizada.

Con base en las aportaciones mencionadas hasta ahora en este apartado, se puede ver que la Web semántica es parte de la evolución de la Web en la cual al contenido de la Web se le agregan datos e información para dotarla de significado. Estos datos e información le son agregadas en forma de metadatos por medio de lenguajes como XML o RDF con la finalidad de hacer esta información entendible tanto para personas como para ordenadores, y para lograrlo estos datos deben tener una estructura definida de representación del conocimiento.

Dentro de la Web semántica, la piedra angular como elemento de representación de conocimiento son las ontologías.

(Zúñiga, 2001) aborda el tema de las ontologías haciendo una diferencia entre la interpretación desde el punto de vista informático y desde el punto de vista filosófico. En su trabajo la autora dice que la naturaleza multidisciplinaria de los sistemas de información ha hecho que se adopte el término ontología, el cual tiene su origen en la filosofía, y que se reinterprete y redefina para ajustarlo a los sistemas informáticos. Además menciona que aunque la filosofía y la informática se habían mantenido como áreas de estudio separadas es un hecho que las ontologías han creado un vínculo que hoy en día las relaciona. Sin embargo el rol que las ontologías juegan en el ámbito de los sistemas de información es totalmente diferente al que rol que juegan en la filosofía,

ya que una ontología desde el punto de vista de los sistemas informáticos es un lenguaje formal designado a representar conocimiento de un dominio particular, y que el propósito que tienen las ontologías para la mayoría de los sistemas informáticos es funcional, es decir, la ontología de un sistema informático está diseñada para uno o más propósitos específicos enfocados en procesar la mayor cantidad de datos posible. Por otro lado, una ontología desde el punto de vista filosófico utiliza el lenguaje como un instrumento para describir cosas pertenecientes a cualquier dominio y las relaciones que existen entre ellas. Finalmente ella agrega que es importante reconocer que el objeto a representar por una ontología en un sistema informático tiene una base conceptual filosófica por lo que dicha ontología es un nivel de explicación de tal objeto.

El concepto de ontología es abordado en el trabajo de (Gruber, 1995). El autor define una ontología como un vocabulario que es la especificación de la representación de un dominio compartido, y que este vocabulario resulta útil para dar soporte a la compartición y reutilización de conocimiento representado formalmente entre sistemas de Inteligencia Artificial y en el cual se encuentran las definiciones de clases, relaciones, funciones y otros objetos. Añade que una conceptualización es una vista abstracta y simplificada del mundo que se desea representar para algún propósito. Además, todas las bases de conocimiento y sistemas basados en conocimiento tienen relación con alguna conceptualización implícita o explícita, por lo tanto, una ontología es una especificación explícita de una conceptualización. Finalmente agrega que este conjunto de objetos y las relaciones descritas entre ellos se reflejan en la representación del vocabulario con el cual un programa basado en conocimiento puede representar el conocimiento, y por lo tanto, se puede describir la ontología de un programa definiendo este conjunto de términos.

Por su parte, (Maedche & Staab, 2001) dicen que la Web semántica se basa en ontologías formales para estructurar datos que sean comprensibles y transportables y que además puedan ser entendibles por los ordenadores, por lo tanto, la proliferación de ontologías es un factor importante para el éxito de la Web semántica. En el mismo artículo los autores comentan que las estructuras conceptuales que definen una ontología representan la clave para el procesamiento de los datos por parte de los ordenadores en la Web semántica, y que estas ontologías sirven como esquemas de metadatos al proporcionar un vocabulario controlado de conceptos, cada uno con semántica explícitamente definida y procesable por los ordenadores.

La Web semántica ha demostrado ser usada en cualquier dominio del conocimiento, tal es el caso del área del cuidado de la salud a partir de la cual se ha generado mucha información que ahora se encuentra disponible en Internet y que permite a los usuarios realizar búsquedas más específicas y obtener resultados más precisos de esas búsquedas gracias a que en muchos casos esta información ya se encuentra estructurada y relacionada con otra algunas veces en forma de terminologías y otras en forma de ontologías. A continuación se presentan algunos ejemplos del uso de la Web semántica en el dominio médico.

Uno de los esfuerzos más representativo de la Web semántica aplicada a la medicina es presentado en el trabajo de (Falkman et al., 2008) en donde los autores afirman que las tecnologías de Web semántica pueden solventar la necesidad de la reutilización del conocimiento, intercambio de datos y razonamiento basado en ontologías pero que aún es necesario hacer más investigación al respecto. En su investigación los autores aplican las tecnologías de Web semántica para la descripción de datos de una comunidad y conocimiento sobre medicina bucal, para lo cual desarrollaron una herramienta llamada SOMWeb (Swedish Oral Medicine Web). Esta herramienta está centrada en dos aspectos, el primero es la contribución de los usuarios, quienes hacen la descripción de casos médicos y el segundo son las reuniones. SOMWeb fue desarrollada utilizando el lenguaje OWL (Web Ontology Language) y RDF para manipular tanto los datos de la comunidad como los del conocimiento de medicina oral. Ellos agregan que con el uso de SOMWeb se ha mejorado la manera de hacer reuniones y de discutir casos clínicos además que se ha observado un incremento en la cantidad de participantes a dichas reuniones. Por medio de esta herramienta los usuarios envían casos en búsqueda de algún consejo acerca de diagnósticos o tratamientos o para iniciar algún foro de discusión. Finalmente los autores afirman que SOMWeb ha resultado benéfico tanto para médicos individuales como para los que forman parte de la comunidad de SOMWeb ya que este sistema les permite compartir conocimiento médico de alta calidad y evidencias externas relacionadas con casos complejos de medicina oral.

En la aportación de (Falasconi & Stefanelli, 1994) los autores afirman que el término ontología tiene su origen en la filosofía y que tiene varios significados, sin embargo dicen que este término también puede ser definido como “la ciencia de los objetos” y con esto se refieren tanto a objetos reales o tangibles como objetos abstractos, por ejemplo, ideas y conceptos. Ellos dan su propia definición como sigue: *“La formalización del conocimiento en forma declarativa comienza con una conceptualización, la cual incluye a los objetos (concretos o abstractos) que existen en algún área de interés junto con la relación entre ellos”*. Ellos presentan en este mismo artículo una clasificación de las ontologías dividiéndolas en seis categorías.

En primera instancia presentan a las ontologías de dominio, las cuales afirman que son las ontologías más comunes y que expresan conceptualizaciones relativas a un dominio del conocimiento particular y que se pueden dividir en:

- Ontologías de Terminologías. Este tipo de ontologías especifican definiciones de términos técnicos. Un ejemplo de estas puede ser la proporcionada por UMLS (Unified Medical Language System) respaldada por la National Library of Medicine, la cual trata de unificar la gran cantidad de términos relacionados con el dominio médico, es decir, con la gran cantidad de vocabularios y clasificaciones que se encuentran en la literatura médica.

- **Ontologías de Información.** Este tipo de ontologías puede ser comparado con los esquemas de las bases de datos relacionales. En el dominio médico, las ontologías de información, deben especificar por ejemplo la organización de los observables, los cuales incluyen todos los síntomas observados en un paciente, los datos acerca de la concentración de la hemoglobina, etc. Y todas las acciones que se puedan dar y que ayuden a mejorar la situación de salud de un paciente, es decir, procedimientos y tratamientos.
- **Ontologías Gnoseológicas.** Este tipo de ontologías especifican conceptualizaciones de bases de conocimiento relativas a un dominio. En el área médica por ejemplo, deben proporcionar los fundamentos ontológicos de la representación de teorías biomédicas, por ejemplo, los mecanismos regulatorios de un sistema endocrino específico.

Además de las ontologías de dominio presentadas anteriormente, la segunda categoría dentro de esta misma clasificación son las ontologías genéricas, las cuales expresan conceptualizaciones que pueden ser genéricas para al menos dos puntos de vista:

- **Ontologías independientes del dominio.** También llamadas meta dominio u ontologías de nivel máximo, que definen conceptos fundamentales como: estado, evento, proceso, acción, parte, etc.
- **Ontologías inferenciales.** Este tipo de ontologías están relacionadas con procesos de inferencia independientes del nivel de implementación y abstracción para la ejecución de una tarea específica.

La tercer categoría son las ontologías de tareas, las cuales expresan conceptualizaciones relativas a modelos de tareas, es decir, modelos de procesos de razonamiento utilizados para resolver problemas específicos de algún dominio en particular, por ejemplo, la obtención de diagnósticos médicos es una tarea que consiste en resolver el problema de diagnósticos en el dominio médico, es decir, proporcionar al paciente la mejor explicación acerca de su estado de salud.

Las ontologías metodológicas también forman parte de esta clasificación, y son las que expresan conceptualizaciones relacionadas con modelos de métodos para resolver problemas, es decir, modelos con estrategias para resolver problemas genéricos independientes de la representación del conocimiento o del dominio.

La ontologías de representación son el quinto elemento en esta categoría y son las que expresan conceptualizaciones relacionadas a los paradigmas de representación del conocimiento, estilos, lenguajes y formalismos que tienen relación con el mundo real, es decir, que están enfocadas en proporcionar un marco de trabajo representacional. Por ejemplo, Frame Ontology presentada por (Gruber, 1995) define conceptos de clase, subclase, etc. comunes a un marco de trabajo orientado a objetos.

Como último elemento de esta clasificación se encuentran las ontologías de aplicación, las cuales contienen todas las definiciones que se necesitan para modelar el conocimiento que se necesita para alguna aplicación en específico.

En párrafos anteriores se ha hecho referencia a las terminologías como una forma de almacenar el conocimiento de los expertos y como un esfuerzo para definir vocabularios de dominios específicos. Con respecto al dominio del conocimiento médicos, otro trabajo que resulta interesante es el presentado por (Gangemi, Pisanelli & Steve, 1999) en donde los autores argumentan que los sistemas de terminologías basados en papel ya no logran satisfacer las necesidades de los sistemas de información enfocados al cuidado de la salud ya que estos requieren de la reutilización y compartición de información del paciente así como de la transmisión y el uso de criterios basados en semántica. Es por esto que ellos argumentan que las ontologías pueden dar un soporte más efectivo a estas tareas. Además, afirman que la gran cantidad de información almacenada en diferentes repositorios aumenta la necesidad de metodologías de integración y técnicas que faciliten compartirla. Por otra parte, otro factor que interviene es que los médicos desarrollan su propio lenguaje con el objetivo de lograr formas eficientes de almacenar y comunicar el conocimiento médico, y que aunque estas formas han resultado apropiadas para almacenar y transmitir información siguen estando en papel y esto puede generar problemas de ambigüedad. Para solventar estos inconvenientes ellos proponen el uso de estructuras ontológicas que representen estas terminologías y que además puedan ser integradas en conjuntos de ontologías, de manera que se le pueda permitir a los sistemas médicos compartir información más eficientemente. Ellos mencionan en su trabajo el desarrollo del proyecto llamado ONIONS² (ONtological Integration Of Naive Sources), como esfuerzo para obtener una ontología o conjunto de ontologías a partir de una terminología, en donde uno de los principales objetivos de ese proyecto es desarrollar un conjunto suficientemente integrado de ontologías genéricas que le den soporte a la integración de ontologías relevantes del dominio médico. Los principales productos de ONIONS presentados en su trabajo son ON9³, que es una librería de ontologías genéricas, IMO (Integrated Medical Ontology) la cual integra cinco terminologías de máximo nivel y una representación formal de algunos repositorios médicos dentro de los cuales se encuentra UMLS⁴. La metodología de ONIONS ha sido aplicada al análisis e integración de las siguientes terminologías médicas: UMLS, SNOMED-III⁵, GMN⁶, ICD10⁷ Y GALEN⁸.

² Steve G, Gangemi A, Pisanelli DM, "Integrating Medical Terminologies with ONIONS Methodology", in Kangassalo H, Charrel JP (Eds.) Information Modeling and KnOWLedge Bases VIII, Amsterdam, IOS Press 1998.

³ <http://saussure.irmkant.rm.cnr.it>

⁴ <http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/umlsmeta.html>

⁵ Coté RA, Rothwell DJ, Brochu L, Eds. SNOMED International (3rd ed.), Northfield, Ill, College of American Pathologists, 1994

⁶ Gabrieli E, "A New Electronic Medical Nomenclature", *J. Medical Systems*, 3, 1989.

Se puede concluir entonces que la Web semántica se refiere a ese conjunto de actividades enfocadas a la creación de tecnologías orientadas a la publicación de datos que sean legibles por programas informáticos con el objetivo de facilitar la interoperabilidad entre estos sistemas, y que para lograr esto se deben agregar metadatos semánticos y ontológicos a los contenidos encontrados en la Web. Estos metadatos semánticos y ontológicos deben describir el significado, el contenido y la relación entre los datos que se encuentren en una página Web. Además para que con respecto a la información que forma parte del conocimiento del dominio médico, se ha mencionado que el almacenamiento de la misma se ha dado a por medio de terminologías y de ontologías o grupos de ontologías, pero que lo que ha ofrecido mejores resultados son las ontologías ya que a estas se les puede dotar de un mayor sentido semántico.

Con respecto a esta investigación, la Web semántica juega un papel fundamental. Por un lado las ontologías han sido utilizadas para representar las relaciones entre enfermedades, sus signos/síntomas y sus pruebas diagnósticas en una estructura que permita hacer procesos de inferencia para la obtención de diagnósticos diferenciales, con esto se ha logrado dotar de significado a un conjunto de información que representa el conocimiento médico. Las terminologías han sido utilizadas para alimentar de más conocimiento médico a las ontologías asegurando la estandarización de vocabulario y con esto disminuyendo el riesgo de la ambigüedad.

2.5 MEDICINA EN LA WEB (E-HEALTH 2.0)

Esta sección está dedicada a describir el término E-Health 2.0 el cual es un caso particular de las aplicaciones de tipo Web 2.0 y de las redes sociales que ya se han explicado. Además, se enlistarán algunos sitios Web con contenido médico con una breve descripción de los mismos para ejemplificar este concepto.

Las aplicaciones de Web 2.0 han ganado mucho poder y usabilidad en los últimos años. Se puede observar el caso particular de sitios Web con contenido médico como foros, wikis y otros. En la mayoría de los casos estos sitios proporcionan información general y no permiten establecer contacto con los médicos. A este tipo de aplicaciones Web 2.0 con contenido médico se les conoce como plataformas o aplicaciones “e-health”. En el trabajo de (Oh et al., 2005) se encuentran varias definiciones de este término, como la proporcionada por Eysenbach en el año 2001 en la que se define e-health como: *“un campo emergente entre la medicina informática, la salud pública y los negocios, que hace referencia a los servicios de salud e información entregada o mejorada a través de Internet y las tecnologías relacionadas. En un sentido más amplio, el término*

⁷ WHO, International Classification of Diseases (10th revision), Geneva, WHO, 1994.

⁸ Rector A, Solomon WD, NOWLan WA, "A Terminology Server for Medical Language and Medical Information Systems", Methods of Information in Medicine, 34, 1995

caracteriza no solo un desarrollo técnico, sino también un estado mental, una forma de pensar, una actitud y un acuerdo para el trabajo en red, pensamiento global para mejorar los cuidados de salud localmente, regionalmente y mundialmente mediante las tecnologías de información y comunicación”.

En la categoría de redes sociales que ofrecen servicios, y abordando el problema de la salud se pueden encontrar sitios con contenido médico que en su mayoría ofrecen información a pacientes a manera de opiniones y experiencias que si bien generan un cúmulo de información proveniente de varias fuentes y que pueden resultar útiles en algunos casos, al no provenir de expertos no resultan muy confiables. De la misma forma, hay sitios Web que permiten establecer el contacto con médicos y solicitar opiniones, pero se obtiene la opinión de un solo médico. Por último, se han encontrado algunos sitios en donde los médicos pueden darse de alta mediante un proceso de identificación de identidad, con lo que se aumenta el grado de confianza de la información publicada en estos sitios. En estos sitios, los médicos pueden compartir información entre ellos por medio de foros y en la mayoría de los casos en formato wiki, pero no está comprobado que estos sitios utilicen algún proceso automatizado para la obtención de diagnósticos diferenciales.⁹

Algunos ejemplos de estos sitios se pueden encontrar en (Luo & Najdawi, 2004). En ese artículo los autores presentan una lista de portales con contenido de salud en donde los pacientes pueden buscar información. En su trabajo los autores argumentan que un portal de salud debe tener un catálogo con información de salud, un motor de búsqueda, un sistema de personalización y una red de comunidades. De estos, el que interesa para este estudio es el último, porque como ellos mencionan, permite a los usuarios compartir información con otros pacientes y experiencias acerca de enfermedades y padecimientos. Esta lista incluye sitios como allhealth¹⁰, un portal que tiene un directorio con una lista de términos relacionados con el área de la salud e información acerca de cada uno de ellos junto con el nombre de los autores que han contribuido con dicho tema, pero no tiene forma de establecer comunicación con los médicos y tampoco un motor de búsqueda. DrKoop¹¹, tiene una lista de categorías, ofrece el servicio de envío de noticias, un motor de búsqueda y la posibilidad de agregar comentarios a cada publicación. Su objetivo es ofrecer información médica novedosa pero no ofrece la posibilidad de establecer contacto con los médicos y tampoco entre ellos. El sitio de healthcentral¹² tiene una lista de otros sitios con información acerca de enfermedades, un motor de búsqueda y una comunidad de pacientes que se pueden enviar mensajes entre ellos y hacer publicaciones. En este sitio los pacientes pueden seleccionar una

⁹ <http://mastersinhospitaladministration.com/2011/top-25-health-and-medical-social-media-sites/>

¹⁰ <http://www.allhealth.org/>

¹¹ <http://www.drkoop.net/>

¹² <http://www.healthcentral.com/>

zona del cuerpo y seleccionar un síntoma de una lista y obtener información acerca de él. La única forma de establecer comunicación con los médicos es un servicio en donde los pacientes con cáncer pueden conversar con los expertos registrándose previamente. Myoptumhealth¹³ es un sitio en donde los pacientes pueden obtener información de su estado de salud a partir de seleccionar de una lista un conjunto de síntomas, pero en la mayoría de los casos el mismo sitio recomienda solicitar ayuda médica o llamar al servicio de emergencia 911. En los casos en los que el paciente pueda obtener ayuda, esta incluye una recomendación con los primeros auxilios a los que puede recurrir junto con el medicamento que le puede ayudar en su tratamiento, pero esto implica en realidad una gran cantidad de riesgos asociados a un posible fallo relacionado con la medicación. Otro portal es el caso de intellihealth¹⁴. Este sitio Web contiene un motor de búsqueda que permite a los pacientes encontrar medicamentos y términos, además, tiene una sección en donde pueden encontrar comentarios acerca de diferentes temas de salud publicados por expertos pero no permite establecer comunicación con ellos. También tiene una sección en donde los pacientes pueden hacer preguntas a los expertos y la respuesta se agrega a una sección de preguntas frecuentes. Un ejemplo más de wikis con contenido médico es el de Ganfyd¹⁵, el cual consiste en una base de conocimientos libre que cualquiera puede leer y cualquier médico registrado puede editar. Es una referencia médica colaborativa hecha por practicantes médicos e invitados no médicos que permite una verdadera compartición de conocimiento.

En el trabajo de (Kamel & Wheelert, 2007) los autores hacen referencia a la relación entre las redes sociales, el área de la salud y la educación del cuidado de la salud, y además incluyen una propuesta de combinar la Web 2.0 y la Web semántica para crear una nueva arquitectura de participación. En su trabajo ellos mencionan que la principal diferencia entre la Web 1.0 y la Web 2.0 es el uso de inteligencia colaborativa que favorece un uso más democrático y participativo. Ellos enfocan su trabajo al campo de la medicina desde el ángulo educacional y afirman que las redes sociales ayudan a los estudiantes a resolver problemas de aislamiento generado por las distancias geográficas a través de las actividades de colaboración en donde los alumnos pueden compartir recursos, conocimiento, experiencias y responsabilidades. Sin embargo también reconocen que una de las principales desventajas de esta colaboración es que no siempre se encuentra bajo control porque cada uno puede crear y colocar contenido en función de satisfacer sus propias necesidades. Pero, por otra parte, la interacción entre los estudiantes puede ser dirigida y retroalimentada por un tutor. Ellos mencionan como ejemplos los siguientes sitios: The British Medical Journal¹⁶, patients.co.uk¹⁷ y

¹³<http://www.myoptumhealth.com/portal/>

¹⁴ <http://www.intelihealth.com>

¹⁵ <http://www.ganfyd.org/>

¹⁶ <http://www.bmj.com/>

¹⁷ <http://www.patients.co.uk/>

doc2doc¹⁸. Este último es una red social de profesionales de la salud con blogs y foros para intercambiar intereses clínicos y no clínicos, es posible crear grupos y enviar mensajes públicos y no públicos, los usuarios son divididos en dos categorías (usuarios registrados y usuarios verificados), los usuarios verificados necesitan proporcionar su número de afiliación a un grupo médico o proporcionar su GMC (General Medical Council). Finalmente hacen referencia a otros sitios como wikisurgery¹⁹, cannotea²⁰, healthyplace²¹ y patientopinion²². Sin embargo siguen siendo ejemplos de sitios en donde participan pacientes pero no se permite la interacción con médicos.

En el artículo de (Giustini, 2006) se analiza el hecho de que los bibliotecarios médicos piensan que más allá de los beneficios que la Web 2.0 ofrece por sí misma, ésta tiene el objetivo de compartir y colaborar, lo cual puede ser utilizado para programar alertas continuas que notifiquen sobre nueva ideas en medicina con el objetivo de mantenerse actualizado. En su investigación el autor presenta algunos ejemplos en donde el más destacado es el caso de un sitio llamado Clinical Cases and Images²³. En este sitio los casos se encuentran organizados por especialidad, de forma que se pueden encontrar casos de alergología, gastroenterología, endocrinología, etc. Cada una de estas especialidades presenta diferentes casos organizados por enfermedad, que en la mayoría de los casos se encuentra respaldado por imágenes que acompañan al resto de la información y que la enriquecen. Por ejemplo, para el caso de la neumología, se pueden encontrar casos de Asma, Neumonía, etc. cada uno de ellos presenta las características generales del caso, parte del historial médico del paciente, los medicamentos que ha tomado, los resultados de la examinación física, las pruebas de laboratorio que se le han realizado al paciente, una lista de probables diagnósticos y pruebas sugeridas, y por último el diagnóstico final, todo esto estructurado a manera de un blog que les permite a los usuarios escribir comentarios con el objetivo de aportar ideas y soluciones al estado del salud de los pacientes.

Como se ha visto hasta ahora, existe una gran cantidad de sitios Web con contenido médico que están orientados a compartir información y sobre todo a buscar la colaboración de expertos en medicina. Si bien esto en un contexto ideal se podría vislumbrar como una excelente solución también presenta algunas desventajas. Por ejemplo, en el trabajo de (Kamel et al., 2006) se presenta un debate en donde los autores argumentan que si cualquier persona puede alterar, editar o contribuir a los sitios Web sin ningún control habrá dificultades para obtener confiabilidad y exactitud de

¹⁸ <http://doc2doc.bmj.com/>

¹⁹ <http://www.wikisurgery.com>

²⁰ <http://www.cannotea.org>

²¹ <http://www.healthyplace.com/>

²² <https://www.patientopinion.org.uk/>

²³ <http://www.clinicalcases.org/>

tales fuentes. Ellos indican que el proceso de colaboración puede derivar en un problema de tipo Darwiniano con respecto al contenido de los sitios Web, y que para obtener mejor información es necesario contar con un sistema que controle, modere o monitoree la información en un entorno cerrado. Sin embargo, son conscientes de que esto puede consumir mucho tiempo y puede resultar muy costoso. En este mismo trabajo los autores hacen referencia a ejemplos de podcast como el de The New York University Ophthalmology²⁴, McGraw Hill's AccessMedicine²⁵, John Hopkins Medicine²⁶, o The Cleveland Clinic²⁷. Los autores afirman que en términos de educación todas estas herramientas tecnológicas son de gran ayuda, incluyendo a las clínicas en áreas rurales, pero para obtener mejores resultados es necesario combinarlas. De igual forma mencionan que la mayor desventaja es la falta de control sobre el contenido.

Existen muchos sitios en Internet con contenido relacionado con el área de la salud con características comunes como los mencionados anteriormente. Algunos de ellos restringen la posibilidad de participación activa exclusivamente a expertos en el área médica, dejando a los pacientes solamente ver la información que esos sitios contienen. Otros permiten que los pacientes puedan establecer comunicación directa o indirecta con médicos e incluso con otros pacientes, aunque esto conlleva el riesgo de que sean los mismos pacientes quienes puedan aportar comentarios que pongan en riesgo la salud de otros pacientes. Como se ha mostrado, el objetivo común es lograr una colaboración entre los expertos y esto lo logran en mayor o menor medida a través de los diferentes tipos de redes sociales que estos mismos sitios implementan, sin embargo, no se ha encontrado evidencia de que, a pesar de este esfuerzo, estos sitios hagan uso de tecnologías de Web semántica. La mayoría de ellos ofrecen información en formato de texto, algunas veces organizados en un menú o catálogos y un motor que ayuda a realizar la búsqueda de algunos temas pero que no se puede usar para casos específicos.

Como se menciona en (Mayer et al., 2006), el número de sitios web con contenido médico en varios lenguajes aumenta continuamente, y se sabe que la calidad de estos sitios web es variable y difícil de medir. Se pueden encontrar sitios web publicados por instituciones del gobierno, organizaciones científicas, asociaciones de pacientes, instituciones de salud, sitios comerciales y hasta páginas personales. Es por lo que resulta necesario establecer criterios específicos y medidas de control que den a los consumidores alguna garantía que los sitios web con contenido de salud que ellos visitan tienen unos niveles mínimos de estándares de calidad. Además, los profesionales que ofrecen esta información deben estar adecuadamente calificados. En su trabajo los autores mencionan que algunos criterios de etiquetado ya se han establecido a través de

²⁴ <http://www.med.nyu.edu/ophthalmology/physicians/podcast.html>

²⁵ <http://books.mcgraw-hill.com/podcast/acm/>

²⁶ <http://www.hopkinsmedicine.org/news/audio/podcasts/>

²⁷ <http://my.clevelandclinic.org/health/healthtalks-podcasts.aspx>

algunas iniciativas, por ejemplo, los criterios adoptados por la Web Médica Acreditada (WMA) en España y Latinoamérica de la Asociación Médica de Barcelona. El primer nivel de estos criterios incluye:

- Identificación
- Contenido
- Confidencialidad
- Control y validación
- Publicidad
- Consulta virtual
- Incumplimiento

De igual forma en (Leis & Mayer, 2011) se menciona que las tecnologías y los servicios basados en la Web 2.0 tienen el potencial de revolucionar los sistemas de salud cambiando la forma en la que se ofrecen los servicios de salud y en la forma en la que los profesionales la gestionan. Igualmente afirma que los médicos tienen un papel fundamental en este proceso de cambio y que las herramientas Web 2.0 son cada vez más utilizadas por investigadores y médicos ya que les permite acceder y compartir un gran número de recursos que les ayudan a completar e incluso sustituir a otros como por ejemplo, las bases de datos especializadas como PubMed.

2.6 INTELIGENCIA COLABORATIVA

Las redes sociales también conocidas como Web 2.0 a diferencia de la Web 1.0 presentan características de dinamismo, es decir, el contenido de la Web deja de ser de solo lectura y comienza a permitir a sus usuarios la colaboración entre ellos, de manera que los usuarios ahora pueden hacer sus aportaciones de ideas y comentarios de cualquier tema, e incluso compartir fotos, video, enlaces, etc., de forma que les permite no solamente estar en contacto con sus amigos sino también conocer gentes de otras partes del mundo con intereses similares en una arquitectura de participación (Musser & O'Reilly, 2007).

En la investigación de (Alag, 2009) se menciona que la creciente interacción y participación de los usuarios da origen a datos que se pueden transformar en inteligencia dentro de una aplicación. El uso de inteligencia colaborativa para personalizar un sitio para un usuario, para ayudarlo a hacer búsquedas o tomar decisiones, y hacer las aplicaciones más llamativas, son retos que las aplicaciones Web están tratando de lograr. Alag hace referencia al libro *Wisdom of the crowds*, obra de Surowiecki (2005), quien afirma que bajo circunstancias correctas, los grupos son extremadamente inteligentes y más listos que la persona más lista que se encuentre en ese grupo. Surowiecki dice que cuando existe un problema, mientras más gente se involucre en él el resultado será mejor. Alag finalmente define inteligencia colectiva como un campo de investigación activo que precede a la Web. Los científicos de los campos de la

sociología, comportamiento de masas y ciencias de la computación han hecho importantes aportaciones a este campo. Él afirma que cuando un grupo de individuos colaboran o compiten unos con otros, la inteligencia o el comportamiento que de otra forma no existía surge de repente, esto es comúnmente llamado *Inteligencia Colectiva*. Las acciones o influencia de un pequeño conjunto de individuos lentamente se difunden a través de la comunidad hasta que estas acciones se convierten en la norma de dicha comunidad.

Como ya se ha mencionado, las aplicaciones de tipo Web 2.0 tiene como característica principal el permitir la compartición de información y sobre todo la participación y colaboración de los usuarios. En (Gruber, 2008) se afirma que las redes sociales son una clase de sitios Web y aplicaciones en las cuales la participación del usuario es el valor principal. Los principales ejemplos son Wikipedia, Myspace, Youtube, Facebook, Flickr, y Del.icio.us. Las discusiones acerca de las redes sociales frecuentemente incluyen la frase “inteligencia colectiva” o “inteligencia colaborativa” o “el conocimiento de las multitudes” (wisdom of the crowds) para referirse al valor creado por las contribuciones colectivas de todas aquellas personas que escriben artículos para Wikipedia, comparten fotos etiquetadas en Flickr o publican sus blogs personales en el espacio abierto de Internet. Sin embargo, él hace una aclaración acerca de este término al exponer que la inteligencia colaborativa es una gran visión, pero que debería llamarse inteligencia colectada. Es decir, el valor de aquellas contribuciones de los usuarios que se ha colectado y agregado a una comunidad o dominio en sitios específicos. Afirma que la inteligencia colaborativa ha sido la meta de los visionarios a través de la historia de Internet, y que el gran reto es potencializar el IQ (Intelligence Quotient) colectivo de organizaciones y sociedades. Entre otras cosas, el autor menciona que la verdadera inteligencia colectiva puede surgir si los datos integrados por todas las personas son agregados y combinados para crear nuevo conocimiento y nuevas formas de aprendizaje que no podrían ser alcanzadas de forma individual. Con respecto a esto, agrega que la tecnología ha permitido la generación de sistemas que utilizan inteligencia colectiva haciendo más barato y fácil el capturar, almacenar, distribuir y comunicar información. En ese mismo artículo el autor menciona que la principal función de la Web semántica en los sistemas de inteligencia colectiva es la creación de valor a partir de datos. Así mismo afirma que las redes sociales y la Web semántica se pueden combinar en otras aplicaciones llamadas Sistemas de Conocimiento Colectivo (CNS - Collective Knowledge Systems) gracias a la participación de los usuarios, lo cual es el valor más importante. En su trabajo el autor define un CNS como sistemas de interacción humano-ordenador en donde los ordenadores permiten la colección de un gran conjunto de conocimiento humano, y presenta algo que denomina FAQ-o-Sphere como propuesta de arquitectura para este tipo de sistemas, en donde las tres partes principales son 1) un sistema social, 2) un motor de búsqueda y 3) usuarios. En este mismo trabajo indica que las propiedades clave de un CNS son:

- Contenido generado por el usuario.

- Sinergia Humano-Ordenador.
- Mayor nivel de respuesta.
- Conocimiento emergente.

Por otra parte (Heylighen, 1999) define la inteligencia colectiva como la habilidad que tiene un grupo de resolver más problemas que sus miembros de forma individual. Argumenta que los obstáculos se pueden dar por los límites del conocimiento individual y la dificultad de la coordinación, y que se pueden sobrellevar utilizando un mapa conceptual colectivo. Él mismo comenta que la dificultad o desventaja que se puede presentar es la frustración que la mayoría de la gente experimenta en comités o reuniones, en donde un gran número de personas compiten en una habitación con el fin de definir un plan de acción o llegar a acuerdos, lo cual presenta dificultades para lograr tomar una decisión. En otras palabras, un problema recurrente es que las personas tienen la tendencia a jugar a juegos de poder, en los cuales todos quieren ser reconocidos como la persona más inteligente o la más importante del grupo, y por lo tanto rechazan cualquier opinión diferente a la suya. Este tipo de problemas comúnmente se resuelven estableciendo un orden jerárquico, en donde la persona con mayor jerarquía puede criticar a los demás y el de menor jerarquía no puede criticar a nadie, sin embargo esta práctica conlleva a otros problemas debido a que a la persona de menor jerarquía rara vez se le presta atención por más inteligentes que sean sus sugerencias.

Otro interesante artículo es el que presenta (Zhdanova, 2008) en donde afirma que una de las mayores metas es demostrar el valor agregado a los portales comunitarios cuando son dirigidos por la propia comunidad. La autora presenta un marco de trabajo que permite la construcción colaborativa de una ontología y un prototipo llamado People's Portal (El portal de la gente) cuya infraestructura permite a los usuarios finales definir aspectos como la estructura del contenido, como construir ontologías, poblar ontologías y definir la manera en la cual el contenido es manejado en varios portales mejorados por medio de las tecnologías semánticas. La autora indica que los portales Web que existen actualmente, a pesar de involucrar a los usuarios, son limitados porque no permiten una completa participación desde el punto de vista de que no pueden modificar la estructura del portal con el fin de solventar sus propias necesidades. Sin embargo, un mayor grado de flexibilidad y adaptación de los portales para resolver las demandas de los usuarios se puede alcanzar si se combina con tecnologías de Web semántica. La autora afirma que los portales deberían de dar al usuario la habilidad de agregar nuevos atributos a la ontología pero el mayor riesgo es obtener como resultado una mala estructura, falta de fiabilidad, ineficiencia y actividades redundantes. Por otro lado, los ingenieros del conocimiento no son capaces de capturar todos los términos que una comunidad puede capturar para hacer cambios a una ontología. Para resolver este problema, ella propone dos formas:

- Crear una ontología con una estructura genérica soportada por la propia comunidad.
- Soporte para el desarrollo de ontologías dependientes del dominio específicamente por usuarios expertos en el dominio.

La autora agrega que, para alcanzar el objetivo de construir ontologías dirigidas por la comunidad debe existir un proceso de consenso, tema del cual se hablará más adelante por ser un tema que aunque está fuertemente vinculado a esta investigación requiere ser tratado de forma individual.

Bonabeau (2009) argumenta que gracias a las recientes tecnologías, incluidas muchas aplicaciones Web 2.0, las compañías pueden sacar provecho de la colectividad en una mayor escala que antes. De hecho, el creciente uso de fuentes de información, conceptos como wikis, redes sociales, software colaborativo, y otras herramientas basadas en Web constituyen un paradigma en la forma en la cual las compañías toman las decisiones hoy en día. Se puede decir que esto es la era emergente de las “Decisiones 2.0”. El autor comenta que la toma de decisiones se puede dividir en dos tareas: la generación de soluciones potenciales y la evaluación de las mismas. Cada una de estas tareas puede ser influenciada negativamente por un gran número de sesgos humanos, pero estos sesgos pueden ser mitigados por medio de tres enfoques de la inteligencia colectiva: alcance, agregación aditiva, y organización propia. Estos tres enfoques se explican a continuación:

- Alcance: Cuando se obtienen o se generan ideas o cuando se evalúan, una compañía puede estar interesada en aprovechar a la gente o a los grupos que normalmente no son incluidos. Pueden, por ejemplo, tratar de cruzar las barreras de jerarquía o funcionales dentro de la organización o simplemente tratar de buscar ayuda de fuera, tratando de obtener una opinión que pueda ayudar a resolver una problemática dada.
- Agregación aditiva: Las compañías pueden recolectar información de una gran cantidad de fuentes y después desarrollar algún procedimiento para promediarla. Este proceso puede ser utilizado para tomar en cuenta las opiniones que provengan de grupos que comúnmente son los encargados de tomar las decisiones, o también se pueden combinar con opiniones de gente externa.
- Organización Propia: Esto se refiere a que en muchos casos con los mecanismos que permiten la interacción entre miembros de un grupo se puede observar el fenómeno en que el todo es mayor a la suma de sus partes. Esto se puede ejemplificar con el caso de Wikipedia o aplicaciones similares, en donde se permite la participación de un gran número de gente, sin embargo esto presenta

un riesgo ya que si los mecanismos de interacción no son diseñados correctamente el todo puede resultar menos que la suma de sus partes.

Una aportación importante al área de la Inteligencia colaborativa relacionada con la medicina se encuentra en el trabajo de (Dieng-Kuntz et al., 2006) en donde los autores definen una red de cuidado de la salud como una red que involucra a todos los actores que intervienen en este proceso, cuyos objetivos son la comunicación y colaboración entre estos actores a pesar de la diferencia geográfica, el cuidado de los pacientes y el respeto a las buenas prácticas. En este entorno de colaboración los pacientes deben ser guiados por los diferentes actores que conforman la red, quienes le deben informar acerca de su estado de salud y quienes deben tener reuniones que pueden ser virtuales síncronas o asíncronas, con la finalidad de compartir y trabajar con la información del paciente, por ejemplo, cuando la enfermedad que presenta el paciente requiere para su cuidado y tratamiento de la colaboración de varios médicos especialistas e incluso de la participación de la familia del propio paciente, como es el caso de la fibrosis quística que requiere el cuidado y vigilancia diaria de pediatras, fisioterapeutas, gastroenterólogos, enfermeras, etc. En estos casos, la red de trabajo debe facilitar el compartir información del paciente entre todas las personas involucradas con su caso. Ellos mencionan como ejemplo de este tipo de redes de trabajo orientadas a la salud el proyecto llamado *Ligne de Vie* (Línea de vida) el cual tiene como principal motivación la necesidad de trabajo cooperativo entre profesionales médicos que da origen al desarrollo de aplicaciones software que les permita a los médicos lo que ellos mismos llaman el *razonamiento colectivo* con el objetivo de diagnosticar la patología de un paciente con base en los síntomas que presenta el propio paciente, los análisis realizados por los médicos y el conocimiento acerca de los padecimientos del paciente que ya se tenían registrados con anterioridad.

Como se ha visto hasta hora, la inteligencia colaborativa es un esfuerzo que se puede observar en cualquier grupo de individuos que traten de obtener la solución a un problema, es decir, se genera en un entorno social. Con el surgimiento de la informática y más particularmente de Internet, este fenómeno social pasa a formar parte de aplicaciones informáticas a las que se les ha denominado aplicaciones Web 2.0, las cuales están enfocadas precisamente a representar este tipo de ambientes o entornos sociales en donde lo que se busca es la participación y colaboración de los individuos. Además, de acuerdo con los autores citados en este apartado, la inteligencia colaborativa tiene como objetivo principal obtener mejores soluciones de las que se podrían obtener trabajando de forma individual, pero que a pesar de ser una excelente iniciativa también presenta sus problemas y riesgos, como el hecho de no tomar en cuenta la opinión de todos los participantes. Se puede resumir entonces diciendo que la inteligencia colectiva o inteligencia colaborativa es una forma de inteligencia que surge a partir de la colaboración y participación de muchos individuos que buscan solucionar un mismo problema o conjunto de problemas. Es decir, buscar lograr tomar decisiones de forma consensuada.

2.7 SISTEMAS DE SOPORTE A LA DECISIÓN MÉDICA

Con lo mencionado hasta el momento se puede afirmar que, la toma de decisiones basadas en conocimiento y en información juega un papel muy importante en nuestras vidas, y desde el surgimiento de la Web se ha dado una evolución en varias áreas con el objetivo de hacer pública esta información, haciendo que sea además que en cierta medida sea entendible por los ordenadores. Como parte de estos esfuerzos surgen los sistemas de soporte a la decisión, los cuales generalmente están basados en técnicas de Inteligencia Artificial. En este apartado se presenta un tipo especial de este tipo de sistemas, los llamados Sistemas de Soporte a la Decisión Médica.

La mayor parte de los conceptos importantes relacionados con los actuales sistemas MDDS (Medical Diagnostic Decision Support) fueron desarrollados y documentados a partir de 1976. Posteriormente, en 1979 Shortliffe, Buchanan y Feigenbaum clasificaron los sistemas MDDS en: algoritmos clínicos, bancos de datos clínicos que incluyen funciones analíticas, modelos patofisiológicos matemáticos, sistemas de reconocimiento de patrones, sistemas estadísticos Bayesianos, sistemas analíticos de decisión, y razonamiento simbólico o sistemas expertos. En el trabajo de (Ledley & Lusted, 1959) los autores señalan que los médicos tienen un conocimiento imperfecto en la manera en como resuelven los problemas de diagnóstico. De igual forma los autores detallaron los principios de los MDDS haciendo énfasis en sistema de diagnóstico Bayesiano y de análisis de decisión, métodos con los cuales se han desarrollado los sistemas de las décadas subsecuentes (Miller, 1994).

De igual forma en (Ledley & Lusted, 1959) los autores hacen un análisis del proceso de razonamiento relacionado con el diagnóstico médico argumentando que la importancia de este problema se había enfatizado por el creciente interés en el uso de ordenadores electrónicos como ayuda en el proceso de diagnóstico médico. Ellos argumentan que los diagnósticos médicos involucran procesos que pueden ser analizados sistemáticamente.

Fue desde ese entonces cuando los sistemas de soporte a la decisión médica comenzaron a surgir como parte de la inteligencia artificial y particularmente de los sistemas expertos. A partir de entonces muchas investigaciones se han realizado en esa área y se continúan realizando al día de hoy. Por ejemplo, en el artículo de (Musen, Shahar & Shortliffe, 2006) los autores hacen referencia a un sistema de soporte a la decisión médica como cualquier programa de ordenador diseñado para ayudar a los profesionales del cuidado de la salud a tomar decisiones médicas. En este sentido, cualquier sistema informático que trabaje con datos o conocimiento clínico estará orientado a proveer soporte a la decisión. En este mismo trabajo ellos mencionan que desde el inicio de la era de la informática, los profesionales de la salud han previsto el momento en el que los ordenadores los puedan ayudar en el proceso de diagnóstico, y también hacen referencia a los primeros artículos de Ledley y Lusted a finales de los años 50's. De igual forma enlistan algunos de los primeros sistemas de soporte a la decisión médica,

dentro de los cuales se encuentran el sistema AAPHelp²⁸ para diagnosticar el dolor abdominal creado en 1972 en la Universidad de Leeds en donde sus creadores estudiaron el proceso de diagnóstico y desarrollaron un sistema de soporte a la toma de decisión utilizando la teoría de la probabilidad Bayesiana. El sistema MYCIN documentado en (Shortliffe, 1990) fue creado en 1976 con el objetivo de dar soporte a la selección de terapia por antibióticos. MYCIN utiliza un enfoque diferente de soporte a la decisión asistida por ordenador al no hacer énfasis en la obtención de diagnósticos sino en el manejo adecuado de pacientes con enfermedades infecciosas. Los desarrolladores de MYCIN pensaron que los algoritmos sencillos basados en estadísticas eran inadecuados para resolver problemas clínicos en donde la naturaleza del experto poco era tomada en cuenta, además de que los expertos frecuentemente se encontraban en desacuerdo acerca de cuál era el manejo más adecuado de los pacientes. Como resultado los desarrolladores recurrieron al campo de la inteligencia artificial, de forma que el conocimiento sobre enfermedades infecciosas en MYCIN fue representado como un conjunto de reglas, en donde cada una de las enfermedades se encontraba contenida en un “paquete” de conocimiento derivado de una discusión colaborativa de un conjunto de expertos. Por otra parte, el sistema HELP²⁹, creado en 1979, era un sistema creado para emitir alertas médicas. HELP era considerado un sistema integral de información de hospital desarrollado en el Hospital LDS en Salt Lake City. Este sistema tenía la capacidad de generar alertas cuando detectaba anomalías en los registros de los pacientes, y su impacto en el desarrollo de su campo fue inmenso, con aplicaciones y metodologías que abarcaban casi todo el rango de actividades de la informática biomédica. Finalmente los autores hacen una distinción entre los tipos de sistemas de soporte a la decisión médica al argumentar que existen dos categorías. La primera son aquellos sistemas que determinan “la verdad” acerca de un paciente y la segunda son aquellos sistemas que ayudan a decidir “qué hacer”, sin embargo, recalcan que esta distinción es importante porque tomar la decisión de qué hacer con un paciente implica hacer un balance de costos-beneficio de la situación. Sin embargo, determinar qué es verdad acerca de un paciente basándose en un conjunto de datos, teóricamente se puede hacer sin tomar en cuenta el costo o el riesgo.

La investigación de (Berner, 2007) también aborda el tema de los Sistemas de Soporte a la Decisión Médica al decir que estos sistemas proporcionan a los médicos, equipo de apoyo (staff), pacientes y otros individuos conocimiento e información específica de alguna persona, filtrada y presentada inteligentemente en los tiempos apropiados para fortalecer las actividades del cuidado de la salud. El autor comenta que los primeros CDSS tienen sus orígenes junto con los sistemas expertos ya que desde entonces los investigadores enfocaban sus esfuerzos en programar a los ordenadores con reglas que les permitieran pensar tal como lo hace un experto en medicina cuando tiene que atender a un paciente. Agrega que entre las características comunes más importantes de

²⁸ <http://www.aaphelp.leeds.ac.uk/aaphelp/background.asp>

²⁹ <http://www.openclinical.org/dss.html>

los CDSS que son diseñados para proveer guía específica al paciente es que incluyen una base de conocimiento que puede contener información sobre diagnósticos, interacción entre fármacos, etc., un programa que procesa esa base de conocimiento y un mecanismo de comunicación que sirva de medio para enterar al paciente desde el CDSS de información relevante acerca de sus posibles diagnósticos. Dice además que los CDSS pueden apoyar a los médicos en diferentes fases del cuidado de la salud, desde la prevención de enfermedades, la obtención de diagnósticos y el monitoreo o seguimiento de pacientes, sin embargo el uso más común de los CDSS es facilitar las actividades médicas como el aseguramiento de diagnósticos precisos que prevean mayores complicaciones y adviertan de posibles efectos negativos derivados por el uso de algún fármaco. Una característica adicional es que pueden potencialmente disminuir costos y mejorar la eficiencia. Él mismo en su artículo hace la aclaración que los CDSS a pesar de que resultan de gran ayuda a la toma de decisiones, su objetivo es precisamente asistir y no reemplazar a los médicos. Los CDSS deben hacer sugerencias, pero son los médicos quienes filtran la información, revisan esas sugerencias y toman la decisión final sobre el o los procedimientos que se tengan que llevar a cabo como consecuencia de esas sugerencias. Finalmente agrega que los avances en la tecnología permiten que estos sistemas sean más interoperables y que los expertos en medicina cada vez están más familiarizados con los recursos de Internet, como las bases de conocimiento y tecnologías basadas en Internet como servicios Web, lo cual promete una mayor diseminación en el uso de los CDSS.

Otro trabajo que resulta de gran interés es el de (Trowbridge & Weingarten, 2001) quienes opinan que la integración del conocimiento médico y los avances clínicos frecuentemente es complicado debido a la complejidad de los algoritmos y protocolos que involucran. Que los CDSS ayudan al médico a aplicar nueva información al cuidado de los pacientes a través del análisis de variables clínicas específicas, y que muchos de estos sistemas son utilizados para fortalecer los esfuerzos en la elaboración y obtención de diagnósticos incluyendo programas basados en ordenador como el caso de Dxpain, presentado por (Barnett, 1987), el cual provee una gran cantidad de diagnósticos diferenciales basados en información de signos y síntomas y resultados de laboratorio, que el médico introduce al ordenador. Además, los CDSS pueden variar grandemente en su complejidad, función y aplicación. En el mismo artículo, los autores añaden que los CDSS deben proveer beneficios significativos en el proceso de cuidado de la salud ayudando a los médicos a prevenir errores, enviando mensajes de alerta para los cuidados preventivos adecuados a un paciente, etc. Sin embargo, investigaciones como la que presentan (Weingarten, Bazel, & Shannon, 1989) comprueban que estos sistemas pueden incrementar el tiempo de consulta de los médicos disminuyendo el tiempo que le dedican al paciente, pero otros estudios como el que se presenta en (Evans et al., 1998) sugieren que los CDSS pueden mejorar la eficiencia de los médicos. Finalmente Trowbridge & Weingarten concluyen diciendo que la utilidad y eficiencia de estos sistemas depende claramente de la lógica del programa, y por lo tanto deben ser desarrollados con un alto control de calidad ya que un sistema que provee información errónea tiene el potencial de causar grandes daños.

Durante este capítulo se han abordado diferentes temas que en conjunto forman parte del contexto de esta investigación. Por un lado las redes sociales que como se ha dicho surgen como fenómeno social independiente de la informática y que cuya principal característica se encuentra reflejada en las tareas de colaboración enfocadas a la solución de problemas de forma más efectiva. Posteriormente con el surgimiento de Internet, este tipo de actividades son resueltas en medios colaborativos más globales por medio de aplicaciones y plataformas de tipo Web 2.0, en donde los usuarios y particularmente sus opiniones y conocimiento compartido siguen siendo el principal valor. Un caso especial se da en el área de la medicina, en donde, como se ha visto existen una gran cantidad de sitios Web con información médica que ya se encuentran estructurados con una arquitectura de participación y colaboración en plataformas de tipo red social. Sin embargo no hay evidencia de que a pesar de que estos sitios cuenten con información muy valiosa tanto para médicos y otro tipo de expertos en medicina como para pacientes, esta información pueda ser entendible y procesable por ordenadores. De esta tarea se encarga la Web semántica, que por medio de lenguajes como XML y RDF dota de significado a la información que se encuentra en la Web y en otras fuentes de información como las terminologías y vocabularios, y organiza esta información en ontologías (piedra angular de la Web semántica). Igualmente se pueden encontrar terminologías y una gran cantidad ontologías con contenido médico que se han utilizado en el desarrollo de Sistemas de Soporte a la Decisión Clínica, de los cuales también se ha hablado en la parte final de este capítulo.

La relación que existe entre los temas mencionados y el estudio en el que se basa esta investigación radica fundamentalmente en la inteligencia colaborativa. Lo que se trata es de determinar el impacto de la inteligencia colaborativa en la obtención de diagnósticos médicos. Para esto se hace uso de un CDSS que utiliza como base de conocimiento un conjunto de ontologías con contenido médico, obtenidas a partir de terminologías médicas. La idea principal es que a través de métodos de consenso se pueda unificar las opiniones de un conjunto de expertos médicos y comprobar en qué medida esta nueva ontología consensuada modifica la precisión de los diagnósticos diferenciales.

La definición de las hipótesis, la descripción de la arquitectura del sistema, el diseño de la base de conocimiento, la definición de los métodos de consenso y demás detalles de la investigación se abordarán en los capítulos subsecuentes.

3. REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO MÉDICO

En los capítulos anteriores se ha hecho mención de la importancia que tiene el contar con información médica que sea contrastada, es decir, que no sea propuesta por cualquier persona o institución no profesional. Lo que se busca es finalmente tener información que sea fidedigna y que de alguna forma esté validada por los mismos profesionales. Igualmente se ha mencionado que este conocimiento debe estar disponible y debe ser compartido por los profesionales de la salud con el fin de obtener mejores resultados de los DDSS (Diagnostic Decision Support System). Para que este conocimiento pueda ser en primer lugar compartido y en segundo lugar procesable por los ordenadores se han utilizado principalmente dos formas de representación del conocimiento que se han creado de forma colaborativa, por un lado las terminologías y por otro lado las ontologías. En el presente capítulo se analizan las principales terminologías y ontologías que forman parte de los esfuerzos que se han realizado con el objetivo de organizar, compartir y estandarizar el conocimiento médico dentro de esta tesis.

Como se mencionó anteriormente, el conocimiento médico puede ser representado de diferentes formas, siendo las que interesan a esta investigación aquellas relacionadas con las tecnologías semánticas por haberse demostrado su utilidad en el campo de representación de conocimiento médico (Rector et al., (2003), Schober (2009)) y en el proceso de diagnóstico diferencial ((Guefack, Gounot, Duvaferrier, Morelli & Lasbleiz, 2012); García-Crespo et al., (2010); Rodríguez-González et al., (2012)).

En el presente capítulo se analizan las principales terminologías y ontologías que forman parte de los esfuerzos que se han realizado con el objetivo de organizar, compartir y estandarizar el conocimiento médico.

3.1 TERMINOLOGÍAS

3.1.1. UNIFIED MEDICAL LANGUAGE SYSTEM (UMLS)

En el artículo de (Rector et al., 1998) se afirma que las terminologías médicas hoy en día juegan un papel clave en el software médico. De hecho forman parte del mismo software. La importancia que ha adquirido el uso de las terminologías y su vinculación con el software hace que se requieran nuevas técnicas con las cuales muchos usuarios médicos, expertos en clasificación y desarrolladores no están familiarizados. Además, es necesario que estas nuevas técnicas para la reutilización de terminologías soporten la compartición de información entre aplicaciones diferentes, ya que si se pretende que las

terminologías jueguen el papel de intermediarias entre las aplicaciones y los profesionales deben ser reutilizables, compartidas y multilingües.

- Compartidas porque se necesita utilizar la misma información por diferentes profesionales para diferentes propósitos en diferentes formas.
- Reutilizables porque no es aceptable el construir los sistemas desde el principio (desde cero). Se requieren terminologías que puedan ser reutilizadas para escribir y configurar sistemas sin reinventar la rueda.
- Multilingües porque tanto el conocimiento médico como el cuidado médico son internacionales.

Las terminologías para los sistemas médicos deben poder expresar de forma suficiente los detalles que se requieren para el cuidado de los pacientes. Los autores mencionan que se ha demostrado que los esquemas tradicionales de codificación y clasificación dificultan la reutilización y la actualización del conocimiento. Incluso UMLS está limitado por sus propias terminologías. Estas dificultades han dado paso a nuevos desarrollos que permiten dividir la evolución general de las terminologías en tres generaciones:

- La primera generación contempla sistemas que presentan estructuras jerárquicas simples tal como ICD9 e ICD10.
- La segunda generación contempla sistemas compuestos, como el microglosario DICOM de SNOMED.
- La tercera generación contempla sistemas compuestos con clasificación automática, normalización y restricciones compuestas como es el caso de GALEN.

Uno de los proyectos más importantes en cuanto al manejo de las terminologías de dominio médico es presentado por (Gangemi, Pisanelli & Steve, 1999). En su trabajo los autores hacen referencia al proyecto ONIONS, el cual describen como una metodología que tiene como principal objetivo el análisis e integración de ontologías y que también ha sido aplicada a algunas terminologías médicas bastante grandes como UMLS. De igual manera dicen que la metodología de ONIONS ha sido desarrollada desde 1992 con la finalidad de solventar el problema de la heterogeneidad de conceptos, y también trata algunos problemas encontrados en el contexto de otras ontologías como GALEN, SOLMC (Ontological and Linguistic Tools for Conceptual Modeling), ONTOINT (Ontological Integration of Information), UMLS, SNOMED-III, GMN e ICD10. En el mismo artículo los autores listan los objetivos principales de ONIONS, los cuales incluyen:

- Desarrollar un conjunto de ontologías genéricas para dar soporte a la integración de ontologías de dominio médico relevantes.
- La integración de un conjunto de ontologías de dominio en una ontología lo suficientemente formal y conceptual como para dar soporte a muchas tareas como por ejemplo la recuperación de información, el procesamiento de lenguaje natural, integración de bases de datos, etc.
- Proporcionar directrices y reglas explícitas para el mapeo de conceptos, establecimiento de restricciones y opciones para la construcción de ontologías con la finalidad de permitir extensiones y actualizaciones.

En su investigación ellos comentan que los principales productos de ONIONS son:

- ON9: Una librería de ontologías genéricas, la cual incluye un conjunto de cerca de 50 ontologías utilizadas en la integración de terminologías médicas y las ontologías intermedias que se fueron generando como resultado de esta integración.
- IMO (Integrated Medical Ontology): Una librería que representa la unificación de las cinco terminologías médicas de alto nivel mencionadas anteriormente (UMLS, SNOMED-III, GMN, ICD10 y GALEN), y que además permite la interoperabilidad entre ellas.

Finalmente los autores opinan que en general las terminologías médicas muestran uno o más de los siguientes aspectos:

- Carencia de axiomas.
- Imprecisión semántica.
- Opacidad ontológica.
- Debilidad lingüística en las políticas de nomenclatura.

Otra aportación importante de los mismos autores se puede encontrar en (Pisanelli et al., 1999) en donde los autores comentan que las ontologías pueden dar un soporte más efectivo a la compartición de datos y conocimiento médico debido a que pueden ayudar a resolver el problema de la ambigüedad y la polisemia originadas por las diferentes conceptualizaciones de términos. Los autores argumentan que la gran cantidad de información almacenada en los distintos repositorios aumenta la importancia de contar con técnicas y metodologías de integración del conocimiento para facilitar su

compartición. Así mismo defienden la posición de que los problemas de ambigüedad y polisemia derivan de que los médicos desarrollan su propio lenguaje con el objetivo de lograr una forma eficiente de almacenar y transmitir el conocimiento médico y que los sistemas de terminologías basados en papel ya no logran satisfacer las demandas de información de los sistemas debido a la gran necesidad que existe de reutilizar y compartir información del paciente además de la necesidad de contar con criterios basados en semántica. En otras palabras, el constante crecimiento en la demanda de compartir información depende de una fundamentación conceptual sólida que evite las ambigüedades y que dote de sentido semántico a todos los datos almacenados en las diferentes bases de datos y que les permita ser compartida en la Web. Es por esto que resulta necesario hacer un análisis profundo de la estructura y los conceptos que se encuentran en las terminologías. Este análisis se puede hacer adoptando un enfoque más ontológico para representar los sistemas de terminologías y para integrarlas en un conjunto de ontologías. Para hacer este análisis los autores han desarrollado el proyecto ONIONS cuyos objetivos principales de han mencionado con anterioridad en esta misma sección. Como parte de este análisis mencionan que UMLS ya ha sido utilizado en otros proyectos enfocados en la recuperación de información y que se han encontrado problemas de polisemia también en esa terminología.

Una descripción interesante de UMLS se encuentra en la investigación de (Huang, Geller, Halper, Perl & Xu, 2009). En su artículo los autores afirman que UMLS comprende una gran base de datos de términos que ha sido poblada por medio de la integración de varias fuentes incluyendo SNOMED-CT, LOINC, NCI Thesaurus, MeSH, MedDra y RxNorm, y que en conjunto estos términos cubren los campos relacionados con la biomedicina y la salud. También se afirma que UMLS actualmente tiene más de 100 terminologías fuente y pretende integrar más. El Metathesauro, repositorio de conceptos de UMLS, actualmente contiene más de un millón 500 mil conceptos y tres millones 200 mil términos en inglés.

Como parte de su artículo los autores muestran el proceso completo para la integración de un nuevo recurso en UMLS el cual dicen que está definido por la National Library of Medicine y comprende cuatro fases principales:

- Análisis e inversión.
- Inserción.
- Edición.
- Aseguramiento de la calidad.

Los autores concluyen reconociendo que en general el proceso de integración tiende a ser una labor muy intensa, por lo tanto, facilitar la integración de ontologías es una cuestión crítica para UMLS. Para ello los miembros del equipo de edición de UMLS

han presentado algunas técnicas utilizadas en el proceso de encontrar casos de sinónimos. Una de estas técnicas emplea la sustitución de sinónimos a nivel palabra, en donde los sinónimos conocidos de palabras individuales, recuperados directamente de UMLS son sustituidos en una frase con muchas palabras en un intento de formar nuevos sinónimos de toda la frase, de forma que ambas frases se agrupen en un solo concepto en UMLS. Un inconveniente para esta técnica es que puede ser muy cara desde el punto de vista informático. Una de las fuentes para esta metodología es el mundialmente conocido WordNet.

A pesar del gran esfuerzo que ha implicado el desarrollo de proyectos como ONIONS y UMLS estos demuestran tener algunos problemas. Algunos de estos problemas son mencionados en el artículo de (Mougin, Bodenreider & Burgun, 2009) en el cual los autores hacen referencia a la polisemia como un problema que se encuentra frecuentemente en las terminologías con contenido biomédico. Por ejemplo, en el caso de UMLS los términos son representados tanto como conceptos independientes como conceptos que pertenecen a varias categorías. Agregan que también la ambigüedad es un problema frecuente de la representación léxica que tiene su origen en el lenguaje natural y que se refleja en las terminologías. Un caso particular de esta ambigüedad son los homónimos, en donde un término léxico accidentalmente corresponde a varios significados distintos que no tienen relación unos con otros. Aseveran que tanto en las bases de datos con contenido léxico como en las terminologías organizadas por conceptos, la ambigüedad se refleja a través de establecer una relación de un término léxico dado con varios conceptos. Para ejemplificar este problema ellos utilizan el término “cold” que en UMLS es ambiguo ya que se encuentra relacionado con 7 conceptos diferentes incluyendo “common cold” que es una enfermedad, “cold temperature” que es un estado y “Chronic Obstructive Lung Disease” que es el acrónimo de COLD. Este es el caso de más de 50 mil términos que están asociados con más de un concepto en UMLS. En la mayoría de los casos de homonimia y polisemia los términos médicos están asociados con distintos conceptos.

La importancia e impacto que ha tenido UMLS como medio de representación del conocimiento del dominio médico ha hecho que una gran cantidad de investigadores y profesionales de la salud se interesen por ella. Por ejemplo (Xiang et al., 2012) se refieren a UMLS como una colección completa de conceptos biomédicos y sus relaciones, la cual hace uso de muchas fuentes importantes tales como NCI Thesaurus, OMIM, y SNOMED-CT. Afirman que los usuarios pueden realizar búsquedas en el metatesauro UMLS para encontrar información detallada que proviene de una gran variedad de vocabularios biomédicos contrastados. En el mismo artículo los autores comentan que UMLS utiliza relaciones semánticas para establecer los enlaces disponibles entre dos conceptos. Ellos identifican las tres partes que conforman la estructura general de UMLS:

- Un metatesauro formado por conceptos tomados de varias fuentes y las relaciones entre estos conceptos. UMLS utiliza CUIs (Concept Unique

Identifier) para identificar inequívocamente conceptos entre las diferentes fuentes de datos. Cada CUI también es categorizado por lo menos por un ST (Semantic Type). En UMLS se pueden observar hasta 133 STs.

- Una SN (Semantic Network) que es una colección de información relacionada a STs que se utilizan para categorizar a las CUIs, y relaciones semánticas que se utilizan para establecer las relaciones entre dos CUIs. La SN actualmente no registra relaciones detalladas entre los CUIs y es de un tamaño bastante pequeño.
- Un vocabulario de especialidades y herramientas léxicas que facilitan el estudio de los conceptos de UMLS con información sintáctica adicional.

En la figura 1 se muestra un esquema que ejemplifica la estructura de UMLS.

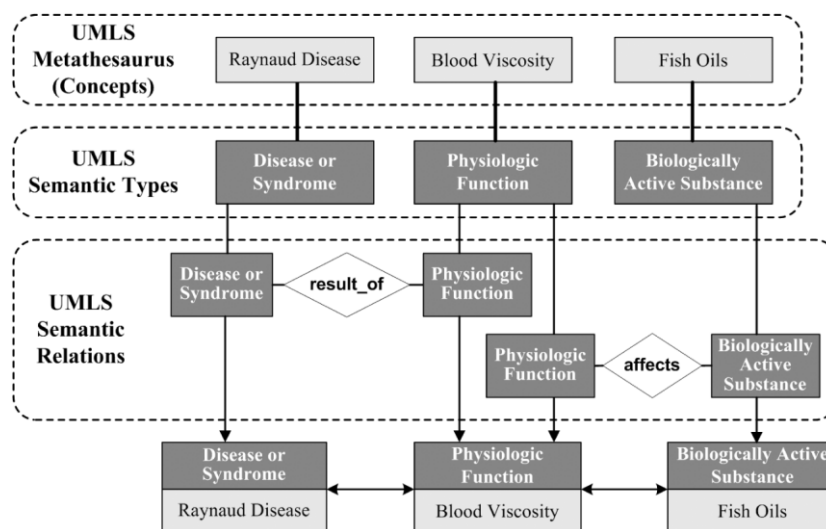


Figura. 1 Esquema UMLS

Otro de los trabajos que abordan el tema de las terminologías médicas y en específico UMLS es el que presentan (Geller et al., 2013). En su artículo los autores afirman varias cosas con relación a UMLS dentro de las cuales destacan que ha sido construido con base en cerca de 160 terminologías fuente, su metatesauro contiene más de 2 millones y medio de conceptos, y su red semántica proporciona una capa de abstracción semántica compactada que consiste en 133 STs. Uno o más STs de la SN son asignados a cada concepto del metatesauro dotándolo de semántica, con lo que describe la naturaleza del concepto e identifica la categoría a la que pertenece, pero cuando hay dos tipos semánticos aplicados al mismo concepto pueden ocurrir problemas. Por ejemplo, en algunos casos la asignación de los STs puede ser redundante porque otro ST exprese el significado del concepto en más de una forma. En otros casos, la asignación de un ST puede contradecir a otro provocando una inconsistencia en la asignación de STs en UMLS.

Como parte de su aportación al estudio de UMLS, en el mismo artículo los autores declaran que no existe un repositorio público que exprese todas las formas válidas de interacción entre los 133 STs aun cuando existe una lista completa de combinaciones de STs no permitidas. Cuando un concepto está asignado a varios STs se puede decir que tiene una semántica compuesta, por lo tanto, tales conceptos son complejos dado su semántica compuesta. Esta situación sugiere que los editores de UMLS se podrían ver beneficiados por un sistema de soporte que les informe o les advierta sobre si es permisible o no la asignación de un tipo semántico a un concepto. Uno de los objetivos de su investigación ha sido precisamente desarrollar un sistema que emita estos avisos que le notifiquen a los editores cuándo una combinación específica de tipos semánticos sea permitida o no.

Finalmente ellos afirman que en la red semántica de UMLS se pueden observar problemas de inconsistencia debido a que cada concepto del metatesauro está asignado a uno o más STs al mismo tiempo, ya que estas asignaciones fueron hechas por muchos editores de UMLS por un largo periodo de tiempo. La red semántica de UMLS está estructurada como dos árboles separados, que tienen como raíz los tipos semánticos *Entidad* y *Evento* respectivamente. Los 133 tipos semánticos de la red semántica constituyen sus nodos y están conectados por enlaces de tipo “is_a”. Cuando un concepto está asignado a dos tipos semánticos entonces está contenido en la extensión de ambos tipos semánticos al mismo tiempo. Matemáticamente esto significa que el concepto está en la intersección de esas dos extensiones. Estas intersecciones de conceptos encontradas en UMLS provocan inconsistencias.

En la figura 2 se muestra el esquema de la SN de UMLS.

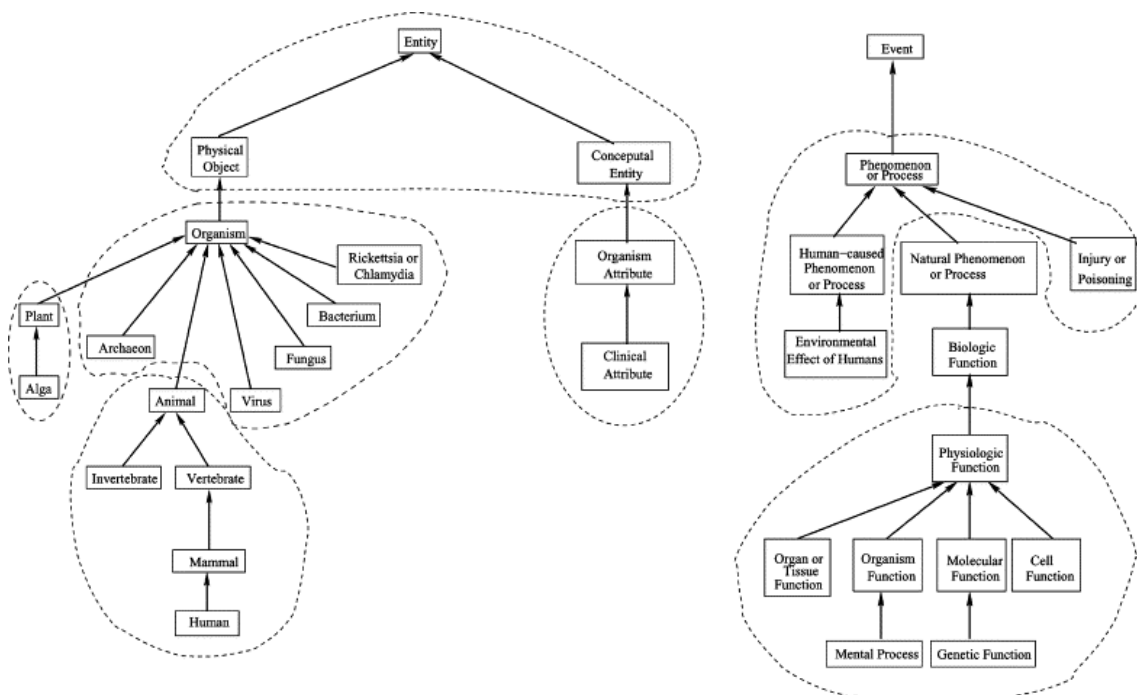


Figura. 2 Semantic Network UMLS

Con respecto al problema de las inconsistencias, (Erdogan, Erdem & Bodenreider, 2010) presentan algunos ejemplos encontrados en UMLS como el que se presenta a continuación. El concepto *capsule* que pertenece a *pharmacologic* (C1181304) se encuentra en el grupo semántico “Chemicals & Drugs”. Sus nodos padres incluyen conceptos de anatomía como *Membranous layer* (C2338391) y conceptos de fármacos como *Pill* (C0994475). Analógicamente, se encuentran semánticas mezcladas en sus nodos hijo, con conceptos de anatomía como *Capsule of adrenal gland* (C1181304) y conceptos de fármacos como *Oral Capsule* (C0991533). Para poder corregir esta sinonimia incorrecta para el concepto *capsule* (pharmacologic) se debe crear un concepto diferente para *capsule* (en anatomía) con un TS del grupo semántico “Anatomy”.

La figura 3 muestra otro caso de inconsistencia entre los conceptos de UMLS.

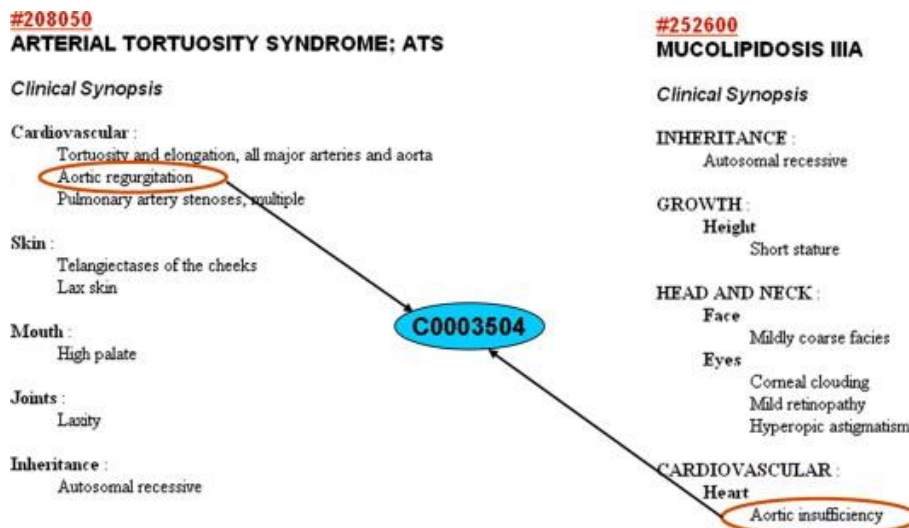


Figura. 3 Caso de inconsistencia en UMLS

En el caso que se muestra en la figura anterior se puede apreciar que en UMLS un mismo CUI puede pertenecer a definiciones de conceptos diferentes que pudieran estar relacionados por pertenecer a la categoría, en este caso *Clinical Symptoms*, sin embargo en el primer caso el CUI hace referencia a *Aortic regurgitation* y en el segundo caso a *Aortic insufficiency*.

3.1.2. SYSTEMATIZED NOMENCLATURE OF MEDICINE CLINICAL TERMS (SNOMED-CT)

Otra de las terminologías que ha demostrado ser de gran utilidad en el entorno médico y del cuidado de la salud es SNOMED-CT³⁰. Se trata de una terminología clínica integral creada originalmente por el College of American Pathologists (CAP) y a partir de abril de 2007 pasó a ser propiedad de IHTSDO (International Health Terminology Standards Development Organization), asociación que se ha dedicado desde entonces a mantenerla y distribuirla. El CAP continúa dando soporte a las operaciones de SNOMED-CT bajo contrato de IHTSDO y proporciona los productos y servicios relacionados con licencia de esta terminología. SNOMED-CT es un conjunto de estándares que fue diseñado para ser utilizado por los sistemas del Gobierno Federal de los Estados Unidos para el intercambio de información electrónica de salud y también es un estándar requerido en especificaciones de interoperabilidad del U.S. Healthcare Information Technology Standards Panel. Una de sus principales fortalezas es que ha sido aceptado también internacionalmente como estándar con otros países miembros de la IHTSDO. Es una terminología clínica extensa que fue creada a partir de SNOMED-RT (Reference Terminology) y el NHS (National Health Service) del Reino Unido. Es el vocabulario clínico que comprende más términos disponibles en inglés o cualquier otro lenguaje. Tiene una estructura avanzada que incluye los más aceptados criterios para una terminología correctamente formada y legible por ordenadores.

De acuerdo con investigaciones de (Wang et al., 2001) SNOMED-RT y CTV3 (Clinical Terms Version 3) son dos terminologías médicas controladas que han sido unidas para formar SNOMED-CT. SNOMED-RT también fue desarrollado por el CAP. Es una terminología clínica basada en conceptos. Ha sido desarrollada por más de 35 años e históricamente ha servido para representar una enorme cantidad de conceptos utilizados en el área de patologías. En 1999, CAP formó una alianza estratégica con NHS para unir SNOMED-RT y CTV3 en una sola terminología llamada SNOMED-CT.

Debido al gran éxito que ha demostrado tener SNOMED-CT y el proceso de evolución por el cual ha atravesado y el cual se refleja en la liberación de diferentes versiones, muchos investigadores han enfocado su interés en él. Tal es el caso de (Spackman et al., 1997) quienes en su artículo argumentaron que en los últimos años ha habido un incremento en la necesidad de solucionar lo que ellos llaman el “problema de las terminologías” en torno a la salud. De igual manera afirman que SNOMED International ha sido desarrollado durante más de 20 años y que se trata de un conjunto integrado de más de 150 mil registros organizados en 12 capítulos diferentes. Estos conceptos incluyen temas de anatomía, morfología, funciones normales y anormales, síntomas y signos de enfermedades, químicos, fármacos, enzimas y otras proteínas del cuerpo, organismos vivos, agentes físicos, relaciones espaciales, ocupaciones, contextos

³⁰ http://www.nlm.nih.gov/research/umls/Snomed/snomed_main.html

sociales, enfermedades, diagnósticos y procedimientos. Con respecto a las enfermedades y diagnósticos, muchos conceptos tienen referencias cruzadas con otros conceptos dentro de la terminología. Por sus características SNOMED-CT forma un punto de inicio para el desarrollo de terminologías de referencia.

En el mismo artículo los autores definen una terminología de referencia para datos clínicos como un conjunto de conceptos y relaciones que proporcionan un punto de referencia común para comparar y agregar datos relacionados con el proceso completo del cuidado de la salud, registrado por múltiples individuos, sistemas o instituciones. El mayor propósito de una terminología de referencia para datos clínicos es la recuperación y análisis de datos relacionados con las causas de una enfermedad, el tratamiento de pacientes y los resultados de todo el proceso del cuidado de la salud.

Agregan que la necesidad de una terminología de referencia puede ser ilustrada por medio de la situación que tienen que enfrentar muchas organizaciones dedicadas al cuidado de la salud. Estas organizaciones normalmente están formadas por muchos hospitales y clínicas diferentes en donde cada uno puede tener un conjunto de sistemas de información. Esto provoca que las organizaciones necesiten juntar datos de diferentes sistemas con el objetivo de administrar la calidad y costo del cuidado de la salud a través de toda la organización. Así que, en lugar de reemplazar totalmente sus sistemas de información con un sistema común, necesitan tener un registro de los datos de cada sistema utilizando o referenciándose a terminología de referencia común.

Por otra parte también afirman que los vendedores de sistemas de información médica y de sistemas de registros médicos electrónicos también tienen la necesidad de hacer uso de una terminología de referencia común que les permita incrementar la habilidad de crear herramientas que les puedan ayudar a automatizar las directrices y prácticas. Por lo tanto, una terminología de referencia puede proporcionar los fundamentos sobre los cuales las organizaciones de la salud, vendedores de sistemas de información, la industria de las aseguradoras, el gobierno y otros puedan conjuntar y analizar datos para mejorar el cuidado de la salud.

En los párrafos anteriores los autores se referían a SNOMED-CT como una terminología capaz de ofrecer gran soporte a las distintas áreas relacionadas con la medicina, desde las organizaciones formadas por conjuntos de hospitales hasta las propias aseguradoras y vendedores de sistemas. Sin embargo, en el artículo de (Werner et al., 2004) los autores hacen referencia a una serie de problemas que se encuentran en las terminologías y en general en las aplicaciones que tienen que interpretar y entender el texto médico que se encuentra escrito en lenguaje natural. Ellos han identificado y listado un conjunto de problemas que han encontrado al analizar SNOMED-CT, aunque también dicen que este análisis no está completo y que se requiere una investigación más profunda del mismo. A continuación se presenta la lista de problemas que ellos han documentado:

A. Error humano. Algunos errores tienen su origen en el ser humano en la fase manual del proceso de crear y verificar SNOMED-CT. Por ejemplo:

A.1. Asignación incorrecta de relaciones de tipo “is_a”. Un ejemplo de esto es que el concepto “diagnostic endoscopic examination of mediastinum NOS” se encuentra contenido en “mediastinoscope”, por lo que un procedimiento es clasificado como un instrumento.

A.2. Asignación incorrecta de relaciones de tipo “non_is_a”. Por ejemplo, el concepto “contracture of palmar fascia” está relacionado con el concepto “plantar aponeurosis structure”. Probablemente como consecuencia de la clasificación automática el concepto está incorrectamente contenido en la jerarquía de “disease of foot” mientras que también está contenido en la jerarquía de “structure of foot”.

B. Errores derivados del uso de la tecnología. Se trata de errores provocados por herramientas que interpretan texto escrito en lenguaje natural.

C. Cambios en los significados entre las versiones de SNOMED-RT y SNOMED-CT. El significado de algunos conceptos en SNOMED-CT ha sido cambiado con respecto a sus correspondientes códigos en SNOMED-RT que tienen el mismo código de identificación y nombre de concepto. Es decir, muchos conceptos con el mismo ID tanto en CT como en RT aparentemente solo cambian en el significado. Por ejemplo, el concepto “45689001: femoral flebography” que en RT está relacionado solamente con “ultrasonido”, en CT también está relacionado con “medio de contraste”.

D. Conceptos redundantes. Por medio del algoritmo que ellos utilizan, al que le han denominado TermModelling, se ha identificado 8746 conceptos que provocan redundancia, es decir, son casos en donde no se puede detectar una diferencia en el significado entre un término y otro.

F. Errores debido a la falta de una estructura ontológica.

F.1 Términos que se solapan: Por ejemplo, un objeto simple puede pertenecer a dos regiones diferentes que no tienen relación. En SNOMED-CT el término “structure of tibial nerve” está directamente subordinado tanto al término “thigh part” como por el término “lower leg structure” que explícitamente se refieren a la parte superior e inferior de las extremidades inferiores.

F.2 Omisión de relaciones obvias. Ciertamente no se puede esperar que una terminología demasiado grande esté completa, sin embargo se puede notar que en SNOMED-CT el concepto “entire uterus” que tiene una relación “is_part_of” con “entire female internal genitalia” no está relacionado con “entire female

genitourinary system”, por lo que en estos conceptos no es posible realizar inferencia alguna.

La importancia de SNOMED ha sido grandemente apreciada por UMLS tal como se afirma en (Wang et al., 2007). En su trabajo los autores dicen que se ha comprobado que SNOMED-CT es un recurso invaluable para la comunidad biomédica y del cuidado de la salud ya que su uso oscila desde registros médicos electrónicos y sistemas de laboratorio médico hasta evaluación de resultados y telemedicina.

De igual forma proporcionan una descripción de la estructura básica de SNOMED-CT de la cual dicen que sus conceptos, hasta la versión liberada en enero de 2004, están organizados en 8 jerarquías de nivel superior cada una con una sola raíz llamada concepto de nivel superior. Por encima de estos conceptos de nivel superior se encuentra un concepto simple llamado *Concepto SNOMED-CT*, el cual sirve como raíz de toda la terminología. Cada concepto es un descendiente del *Concepto SNOMED-CT* por medio de una secuencia de relaciones de tipo “is_a” que pasa exactamente a través de un concepto de nivel superior.

Las descripciones son términos o nombres asignados a cada uno de los conceptos de SNOMED-CT. Un concepto dado tiene una o más descripciones asociadas. Una de ellas es llamada “Fully Specified Name” (FSN) que es una frase única que describe un concepto de forma que intenta no ser ambiguo. En cada uno de los lenguajes cada concepto tienen una descripción designada como “término preferente” pero este puede variar de un lenguaje a otro. Muchos conceptos tienen descripciones alternativas llamadas sinónimos.

Las relaciones son las conexiones entre conceptos, y cada concepto tiene al menos una relación con otro concepto. Las relaciones en SNOMED-CT son unidireccionales y van desde un concepto origen hacia un concepto destino. Las relaciones inversas no se permiten. Se observan dos tipos generales de relaciones en SNOMED-CT.

- Relaciones “is_a”, las cuales forman la base de las jerarquías. Cada una conecta un concepto específico (concepto hijo) con un concepto más general (concepto padre).
- Relaciones de atributos, que caracterizan y definen conceptos. Cada uno puede adquirir valores solo de una jerarquía de nivel superior descrita.

Una relación de atributo particular comprende su concepto origen, su tipo de relación, y un valor que es otro concepto. Estas tres juntas son llamadas tripletas OAV (Object-Attribute-Value).

Los Registros de Salud Electrónicos (EHRs) también es algo que se ve beneficiado por el uso las terminologías y en especial de SNOMED-CT, es así como se afirma en

(Schulz et al., 2009). Los autores agregan que SNOMED-CT está basada en una taxonomía de 311 mil conceptos que están enlazados a términos y sinónimos multilingües. Afirman que la internacionalización de SNOMED-CT ofrece una oportunidad única de conjuntar las siguientes tendencias:

- Estandarizar una terminología global de dominio médico y de ciencias de la vida que sea adecuada para tratar con una enorme cantidad de información clínica y científica.
- Un impresionante legado de terminologías biomédicas.
- Esfuerzos enfocados a la creación de una fundación de ontologías con los tipos básicos de entidades en el dominio médico.
- La creciente capacidad de razonamiento basado en lógica adecuado para ontologías de gran tamaño.

Los mismos autores comentan que debido a la falta de una noción clara de lo que realmente es una ontología, la diferencia entre una terminología y una ontología se ha vuelto un poco confusa. Con base en esta afirmación opinan en su artículo que una terminología es un conjunto de términos que representan los conceptos del sistema de un área de estudio en particular, de tal manera que, relacionan los significados lingüísticos de las entidades con conceptos, los cuales son concebidos como el significado común de términos cuasi-sinónimos. Por otro lado, contrario a las terminologías, las ontologías se podrían ver como la disciplina que se dedica a *el estudio de lo que hay*. Formalmente las ontologías son teorías que proporcionan precisión sobre formulaciones de consultas basadas en lógica de los tipos de entidades que existen en la realidad, sus propiedades y las relaciones que existen entre ellos.

En otras palabras, las terminologías son un conjunto de términos y conceptos que tienen relación entre sí por el hecho de pertenecer a una misma área de conocimiento sin que esta relación sea explícita, además, se relacionan con sus propias definiciones. Las ontologías son un conjunto de términos relacionados entre sí por el dominio al que pertenecen pero también relacionados entre ellos en una estructura basada en la lógica, la cual permite a los sistemas de soporte a la decisión, recuperar información a partir de ellas por medio de procesos de inferencia.

Como parte de su investigación los autores presentan la siguiente lista de problemas que han detectado en SNOMED-CT:

- Desorden de identificación múltiple. Esto se debe a las múltiples versiones de SNOMED que dan como resultado una diferencia en las diversas arquitecturas que a veces se contradicen unas con otras.

- Distrofia de nivel superior. Se refiere a que las ontologías de dominio deben tener una raíz en un nivel que establezca distinciones fundamentales entre materiales, objetos, espacios, funciones, eventos, etc. Es decir, debe haber una diferencia entre las entidades que existen de forma constante como objetos físicos y espacios, y las que existen con dependencia del tiempo como los eventos y procesos. La arquitectura de nivel superior de SNOMED-CT carece de estos principios.
- Desorden de límites entre conceptos. Cuando se habla de SNOMED-CT se utiliza la palabra “concept” como sinónimo de nodo en la jerarquía sin tomar en cuenta su significado ontológico o epistemológico. Contradictoriamente cuando se habla en términos ontológicos se utiliza el término “classes”, “relations”, “meta-classes” e “Individuals”. Esto provoca una inconsistencia en la forma de nombrar a los elementos que conforman la estructura de la terminología.
- Particularidad de relaciones. Las relaciones deben ser consistentes y no ambiguas para poder ayudar a los desarrolladores de ontologías y usuarios a evitar errores. En SNOMED-CT las relaciones son un tipo especial de conceptos, pero no son definidas formalmente, y por la singularidad de nombres difícilmente pueden ser mapeadas hacia una relación en otra ontología.
- Distrofia taxonómica. La forma más común de distrofia taxonómica que presenta SNOMED-CT es la conocida como “is_a overlapping” es decir, superposición de relaciones de tipo “is_a”. Esto se debe a que hay subclases que tienen más de una clase padre.
- Implantes SEP. También llamadas tripletas SEP que modelan artefactos que extiende las taxonomías redefiniendo las relaciones. SNOMED-CT está repleta de clases redefinidas, de una forma incompleta y no sistemática, y los términos asignados a ellas son frecuentemente engañosos.
- Descripción débil. La mitad de los conceptos de SNOMED-CT son primarios, es decir, no tienen una diferencia específica. Un ejemplo es el concepto Cessation of sedation (procedure) que no está relacionado con el concepto Sedation.
- El síndrome del calificativo Los calificativos de SNOMED-CT son relaciones utilizadas para restringir las especificaciones posteriores. Por ejemplo, el término Asthma permite 12 diferentes valores para el calificativo Course y 6 más para el calificativo Severity. Solo un pequeño subgrupo de relaciones en

SNOMED-CT son utilizadas como calificativos, y al parecer estas relaciones nunca se usan para diferentes propósitos. Así por ejemplo se puede observar la extraña situación en la que el calificativo Severity se permite para la clase Asthma pero no se utiliza para definir una subclase Severe Asthma.

Describir los nuevos avances en la terminología SNOMED-CT y su aplicabilidad a la documentación del cuidado intensivo es el objetivo del estudio publicado por (Shahpori & Doig, 2010). En este artículo se puede leer que los registros médicos electrónicos o los sistemas de información clínica han sido rápidamente adoptados por muchos profesionales del cuidado de la salud y muy pronto se convertirán en un estándar para la documentación de los datos de los pacientes. Sin embargo, en la mayoría de estos sistemas la información importante sobre diagnósticos, observaciones, tratamientos, y complicaciones se encuentra en un formato de texto plano o utilizando términos no estandarizados. Esta situación dificulta la reutilización de esta información para el soporte a la decisión, gestión de la calidad, administración, o para compartir información para hacer investigación y evaluación comparativa. Para solventar este problema es necesario utilizar un sistema de terminología estándar. Los autores argumentan que actualmente SNOMED-CT es la única terminología respaldada por los estándares de organizaciones de salud capaz de manejar las necesidades de una terminología clínica cubriendo todas las áreas del cuidado de la salud incluyendo los cuidados intensivos.

Ellos destacan como una de las principales características de SNOMED-CT es que se trata de una terminología estándar internacionalmente mantenida y que está respaldada por otras terminologías estándares de organizaciones internacionales de salud tal como Health Level 7³¹, Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM)³², International Organization of Standardization (ISO)³³, y World Health Organization (WHO)³⁴.

Contrario a lo que otros autores afirman, los investigadores de este artículo mencionan que una de las principales ventajas de SNOMED-CT es la consistencia en la comunicación de información y el aseguramiento que términos diferentes que describen a un concepto permiten llegar a un entendimiento común del concepto. Una potencial ventaja desde el punto de vista clínico de SNOMED-CT es su habilidad de utilizar todos los sinónimos conocidos de un concepto para permitir la menor cantidad de diferencias.

Adicionalmente, contrario a otras terminologías como ICD, SNOMED-CT no está hecha para un solo propósito específico, y contrario al conjunto de datos ofrecido por el

³¹ <http://www.hl7.org/>

³² <http://medical.nema.org/>

³³ <http://www.iso.org/iso/about.htm>

³⁴ <http://www.who.int/en/>

Intensive Care National and Research Center (ICNARC) SNOMED-CT no está orientada específicamente a los cuidados intensivos, por lo tanto podría necesitar ajustes semánticos para su uso en este entorno.

La terminología SNOMED-CT se vuelve a abordar como tema central en el trabajo de (Lee, Cornet & Lau, 2011). En su aportación los autores afirman que se trata de una terminología de referencia que abarca tanto conceptos clínicos como enfermedades, hallazgos clínicos (findings) y procedimientos. Igualmente documentan que cada seis meses se libera una nueva versión a través de la National Release Centers de cada uno de los países miembros. Con cada nueva versión hay cambios que pueden afectar el uso de SNOMED-CT en los sistemas EPR. Algunos de estos cambios pueden derivar en consecuencias inesperadas en la codificación de los sistemas informáticos que utilicen SNOMED-CT. Finalmente dicen que el modelo conceptual de SNOMED-CT define las relaciones semánticas entre los conceptos.

Por otra parte, en el artículo presentado por (Wang et al., 2012) se reporta que se ha comprobado que SNOMED-CT es un importante recurso para la comunidad biomédica y del cuidado de la salud desde su organización en el año 2002, sin embargo su creciente tamaño y su complejidad inherente pueden dificultar su usabilidad y posterior desarrollo, por lo tanto se necesitan herramientas avanzadas que faciliten la orientación y comprensión de la información que forma el contenido conceptual de SNOMED. En su artículo los autores mencionan que SNOMED CT está formado a partir de la fusión de SNOMED RT (Reference Terminology) y la CTV3 (Clinical Terms Version 3) propuesta por el Reino Unido. SNOMED CT es una terminología médica basada en descripción lógica que cubre un amplio rango de conceptos clínicos incluyendo enfermedades, procedimientos, especímenes, sustancias, hallazgos clínicos, etc. Cada concepto de SNOMED tiene un término descriptivo único llamado “Fully Spaced Name” (FSN), un término preferencial y un conjunto de sinónimos. Los conceptos están organizados en 19 niveles que representan en un orden jerárquico hallazgos clínicos, sustancias, estructuras del cuerpo, etc. Los conceptos que están en una misma jerarquía están vinculados por relaciones de tipo “es-un” de forma que cada jerarquía forma un grafo acíclico dirigido. Los conceptos también tienen relaciones con atributos dirigidas hacia otros conceptos. En SNOMED cada tipo de relación está definida para partir de una jerarquía origen hacia una o más jerarquías destino. En esta misma obra los autores comentan haber observado que uno de los principales problemas que se encuentran en SNOMED-CT es que a pesar de tratarse de un recurso de información bastante completo y organizado en jerarquías, esta misma organización hace que se presente el problema conocido como “overlapping” o superposición de términos a los que se les ha denominado términos complejos, es decir, términos que se encuentran en diferentes grupos de conceptos, en donde a cada grupo se le llama taxonomía de área parcial, la cual se ha comprobado que es un vehículo muy útil para entender la estructura general de jerarquías de SNOMED-CT ya que ayuda a localizar errores potenciales en ella e identificar aspectos de modelado que pueden ser mejorados. Sin embargo las

taxonomías aún carecen de uniformidad semántica, y esta deficiencia se debe precisamente al problema del “overlapping”.

SNOMED-CT es un producto que ha sido diseñado como la terminología de referencias clínicas recomendada para su uso en sistemas de información clínica en todo el mundo, y que se ha reportado su uso en más de cincuenta países (Lee et al., 2013). En ese mismo artículo se indica que países como los Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Nueva Zelanda y Australia han sido los encargados de diseñar SNOMED-CT, sin embargo, a pesar de que se reporta su uso en más de cincuenta países todavía existen algunos detalles con respecto a su implementación. En el mismo artículo ellos mencionan que la Guía de Implementación Técnica del IHTSDO define tres tipos de implementación:

- Registros clínicos.
- Representación del conocimiento.
- Análisis e integración.

Los registros clínicos se refieren al manejo de los datos de los pacientes e incluyen servicios tales como registro, almacenaje, recuperación y comunicación de datos disponibles en SNOMED-CT por medio de los CIS (Clinical Information Systems). La representación del conocimiento se refiere a expresar el conocimiento clínico tal como guías clínicas y patrones del cuidado de la salud en SNOMED-CT. El análisis e integración se refiere a la recuperación de datos desde un CIS con el propósito de hacer un análisis secundario.

3.2 ONTOLOGÍAS BIOMÉDICAS.

Otro medio de representación del conocimiento médico que ha sido ampliamente utilizado tanto por profesionales del área de la salud como por ingenieros del conocimiento son las ontologías, las cuales, por la naturaleza de su estructura basada en lógica proposicional tratan de dar solución a los problemas semánticos que presentan las terminologías.

El principal uso de las tecnologías de Web semántica en medicina es aplicado para proporcionar interoperabilidad a los sistemas actuales, permitiendo el intercambio de información. Sin embargo, dada la capacidad de las ontologías en cuanto a la representación y compartición de conocimiento las tecnologías de Web semántica deberían ser tomadas en cuenta para más propósitos que la interoperabilidad entre sistemas de información (Gruber, 1995).

Las tecnologías semánticas, basadas en ontologías proporcionan un marco de trabajo común que permite la integración, compartición y reutilización de datos provenientes de muchas fuentes (Fensel, 2004). En otras palabras, las ontologías dotan a los sistemas de información de una semántica basada en conocimiento para la interpretación de contenido no estructurado (Mikroyannidis & Theodoulidis, 2010).

A continuación se presentan algunas de las ontologías de dominio médico y biomédico más reconocidas.

3.2.1 OPEN BIOMEDICAL ONTOLOGIES (OBO).

OBO Foundry³⁵ es un experimento colaborativo que involucra a desarrolladores de ontologías con contenido científico que han establecido un conjunto de principios para la creación de ontologías ortogonales que sirvan de referencia en el dominio biomédico.

El valor de cualquier dato aumenta cuando este existe en una forma que le permita ser integrado con otros datos (Smith et al., 2007). Los autores de ese mismo artículo apuntan que una forma de lograr la integración es a través de múltiples corpus de datos que utilizan un vocabulario controlado común u ontologías. Desafortunadamente, el éxito de este enfoque ha dado paso a la proliferación de ontologías, que a su vez generan obstáculos para esta integración. El consorcio OBO (Open Biomedical Ontologies) tiene como parte de sus objetivos la creación de estrategias para solventar estos obstáculos. Las ontologías OBO existentes, están experimentando una reforma coordinada, y nuevas ontologías están siendo creadas con base en un conjunto de principios comunes que dirigen su desarrollo. El resultado es un conjunto de ontologías en expansión que está diseñado para ser interoperable y lógicamente estructurado y para incorporar representaciones exactas de la realidad biológica.

Como los mismos autores indican, en el dominio médico la cantidad de datos que se encuentra disponible para propósitos de investigación es muy limitada y estos datos todavía consisten en un conjunto abrumador de texto escrito en lenguaje natural. Aun cuando existen datos clínicos organizados de forma más sistemática, el uso de esquemas que manejan códigos locales hace que la acumulación de estos datos no permita realizar procesos de investigación ya que al estar almacenados de forma local el número de usuarios es reducido.

En el mismo artículo se pone el ejemplo del Modelo de Referencia de Información (RIM) de HL7 el cual busca integrar todos los datos relacionados con la investigación contra el cáncer en una estructura común estandarizando la forma en la cual los datos son adquiridos, formateados, compartidos, procesados y almacenados. Igualmente

³⁵ <http://www.obofoundry.org/>

ofrece un estándar para el intercambio, gestión e integración de toda la información relevante al cuidado de la salud.

Como indican (Mungall et al., 2010) el proyecto OBO (Open Biomedical Ontologies) fue creado en 2001. La iniciativa de OBO aplica los principios clave en los que se ha basado el éxito de GO (Gene Ontology) explicados en (Ashburner et al., 2000), como por ejemplo, que las ontologías sean abiertas, ortogonales, instanciadas con una sintaxis bien definida y diseñadas para compartir identificadores. Deben ser abiertas en el sentido que los datos descritos en sus términos deben estar disponibles para su uso sin ninguna restricción o licencia y puedan ser aplicables para nuevos propósitos sin restricción.

OBO Foundry comprende más de 60 ontologías, y su rol como recurso de información de ontologías está respaldada por el NIH Roadmap National Center for Biomedical Ontology (NCBO)³⁶. Se trata de un experimento colaborativo basado en la aceptación voluntaria de sus participantes para desarrollar un conjunto de principios que extienden los principios originales de OBO requiriendo que las ontologías adicionalmente:

- Deben ser desarrolladas en un esfuerzo colaborativo.
- Deben utilizar relaciones comunes que sean definidas sin ambigüedad.
- Deben proporcionar procedimientos para obtener retroalimentación del usuario y para identificar versiones exitosas.
- Deben establecer límites claros entre diferentes temas.

En el artículo de (Smith, 2008) el autor dice que en el área de la ciencia, cada vez más, los resultados experimentales han sido descritos en formas algorítmicamente útiles con la ayuda de las ontologías. Tales ontologías son creadas y mantenidas por científicos para permitir la recuperación, integración y análisis de datos. La postura que el autor defiende es que las ontologías de este tipo, por ejemplo Gene Ontology, son parte de la ciencia. Las ontologías creadas por científicos deben estar relacionadas con implementaciones que cumplan con los requerimientos de la ingeniería de software.

Así mismo, el autor comenta que de un tiempo a la fecha GO ha gozado del status de vocabulario estándar para la documentación de datos experimentales que pertenecen a productos genéticos. GO ha sido ampliamente aplicada a datos obtenidos de muchos tipos de experimentos diferentes que involucran organismos y procesos biológicos. También ha sido sujeto a una serie de reformas en su estructura lógica que han aumentado el grado en el cual puede ser explotada por procesos algorítmicos. Defiende

³⁶ <http://www.bioontology.org/>

la postura de que GO y sus ontologías hermanas forman parte de la ciencia, es decir que: 1) esas ontologías por sí mismas son el resultado de actividad científica tal como lo son los artículos científicos, y 2) que los procesos involucrados en la autoría, mantenimiento y evaluación también son parte de la actividad científica.

Finalmente Smith en este artículo publica una lista de los principios de OBO Foundry los cuales pueden ser resumidos en los siguientes:

- El primero se refiere a los principios sintácticos, y dice que una ontología presentada a OBO Foundry debe emplear una o más sintaxis comunes compartidas, poseer un único espacio de identificación, y contar con procedimientos de identificación de distintas versiones.
- La fundación requiere para sus ontologías que las definiciones textuales sean proporcionadas para todos los términos.
- Las ontologías deben ser abiertas, para tener un contenido claramente específico y delimitado, para que exista independencia y pluralidad de usuarios, y para sujetarse a un proceso de desarrollo colaborativo que involucra desarrolladores de las ontologías de OBO Foundry.
- Finalmente OBO Foundry abarca principios de ortogonalidad, es decir, que por cada dominio debe existir convergencia entre las ontologías simples que se recomiendan usar por aquellas que desean pertenecer a la iniciativa de la fundación, ya que la ortogonalidad ayuda a eliminar la redundancia.

En (Schober et al., 2009) los autores afirman que una gran variedad de importantes ontologías en el dominio médico y biomédico están disponibles a través del portal de OBO Foundry y la cantidad de estas aumenta rápidamente. Sin embargo, la integración de estas ontologías requiere un gran esfuerzo pero es extremadamente deseable y necesaria. Los autores reconocen que la heterogeneidad de formato y estilo pone serios obstáculos a la integración. Un caso particular son las inconsistencias en las convenciones para establecer nombres ya que pueden afectar la lectura y navegación a través de la jerarquía de clases y dificultar su alineamiento e integración. Con respecto a esta tarea en este artículo se afirma que la integración de convenciones de nombrado es una meta que se considera alcanzable, particularmente si estas convenciones están basadas en la experiencia práctica y encuestas de la opinión pública.

Los autores creen que el nombrado claro y explícito adquiere aún mayor importancia cuando se trabaja con ontologías entrelazadas, o que los ingenieros de ontologías necesitan colaborar con grupos externos para alinear ontologías.

Como se afirma en el trabajo de (Hoehndorf et al., 2010), la estructura propuesta por OBO Foundry es utilizada para representar la mayoría de las ontologías biomédicas,

entre ellas GO. Los autores además mencionan que para lograr la interoperabilidad entre las ontologías de las ciencias de la vida es importante establecer una semántica formal para el formato de OBO y que aunque existen varios mapeos desde el formato OBO hacia el formato OWL ninguno proporciona una representación flexible a la semántica de OBO que corresponda con el significado que pretenden los desarrolladores de ontologías. Con respecto a las relaciones establecidas en las ontologías que siguen el formato de OBO los autores mencionan que la Ontología de Relaciones de OBO (RO) descrita por (Smith et al., 2005) ha sido adoptada como referencia para la semántica de las relaciones dentro de OBO Foundry. Esta ontología de relaciones se utiliza para hacer los mapeos actuales entre el formato OBO y el formato OWL. A pesar de esto RO no proporciona los medios para ser tomada en consideración. Una de las causas es que RO proporciona definiciones para relaciones utilizadas en las ontologías de primer orden de OBO para las cuales OWL se encuentra limitado. Mientras que RO define relaciones utilizando lógica de primer orden, los autores se interesan en utilizar OWL como lenguaje de representación del conocimiento para ontologías biomédicas y ponen como principal razón que OWL está basado en descripción lógica y en contraste con la lógica de primer orden, los procedimientos para la toma de decisiones están disponibles para dar soporte al razonamiento automático.

Muchos autores han comprobado que las ontologías que contemplan el conocimiento del dominio médico y biomédico son una herramienta de gran valor en términos de su aplicación en sistemas informáticos y en general para los avances en materia de manejo de información médica. Un ejemplo de esto es el artículo presentado por (Ghazvinian, Noy & Musen, 2011) el cual se afirma que las ontologías biomédicas facilitan la integración de información, el intercambio de datos, la búsqueda de datos biomédicos y otras tareas relacionadas con el conocimiento. En ese artículo los autores confirman nuevamente que OBO Foundry es un esfuerzo colaborativo que establece principios para el desarrollo de ontologías con el objetivo de que estas sean interoperables en el dominio de la biomedicina y que uno de los principales requerimientos para alcanzar este objetivo es asegurar que los desarrolladores de ontologías reutilicen las definiciones de términos que otros desarrolladores ya han utilizado en lugar de crear sus propias definiciones, y de este modo hacer ontologías ortogonales, es decir, que cada término se encuentre definido en solamente una ontología y que otras ontologías que necesiten utilizar el término utilicen la definición del término que se encuentre en la ontología fuente. Los principios incluyen, por ejemplo, que las ontologías se encuentren disponibles y sean abiertas, que las ontologías puedan ser expresadas utilizando una sintaxis compartida, que todos los términos en las ontologías tengan una definición correctamente formada y que las ontologías tengan diferentes tipos de usuarios. Ellos afirman que el 30% de las ontologías candidatas reutilizan términos definidos en otras ontologías, y que el 96% de las ontologías candidatas contienen términos que se superponen con términos que se encuentran en otras ontologías. Además reportan que en marzo de 2010 analizaron 6 ontologías pertenecientes a OBO Foundry y encontraron que el nivel de solapación de términos es extremadamente bajo pero que igual de bajo es el nivel de reutilización de términos.

3.2.2 INFECTIOUS DISEASE ONTOLOGY (IDO).

Otra de las ontologías que también es muy nombrada por los expertos es IDO (Infectious Disease Ontology). En el trabajo de (Cowell, Smith & Goldfain, 2010) se hace referencia a esta ontología. De ella los autores mencionan que ha sido diseñada para proporcionar una terminología consistente, una taxonomía y una representación lógica del dominio de enfermedades infecciosas. La estructura de IDO consiste en una ontología central, una taxonomía y una representación lógica del dominio de enfermedades infecciosas. La ontología central es llamada “IDO Core” y tiene como principal función cubrir los términos comunes de las enfermedades infecciosas y un conjunto de ontologías extendidas para enfermedades específicas. El propósito de IDO Core es asegurarse que las ontologías extendidas y sus términos sean interoperables. Su diseño está orientado a ser una ontología independiente de las enfermedades y las patologías para representar entidades y relaciones a través de tres dimensiones:

- Escala biológica: Por ejemplo, genes, células, órganos, organismos, población.
- Perspectiva disciplinaria: Por ejemplo, clínica, biológica, epidemiológica.
- Organismos de tipo vectoriales, patógenos y portadores: Por ejemplo: humanos, ratas, cerdos, VIH, Influenza.

Ambos, el IDO Core y sus extensiones se deben adecuar a los lineamientos de las ontologías de OBO Foundry, por lo tanto IDO depende de la Basic Formal Ontology (BFO)³⁷ y su ontología padre.

Con respecto a IDO (Cowell & Smith, 2010) dicen que inicialmente los vocabularios y las terminologías existían en forma de diccionarios impresos compilados y procesados manualmente por el ser humano y que tales recursos continúan jugando un papel importante en ambientes como por ejemplo la educación. Sin embargo, para ellos, el principal uso de este tipo de recursos es fomentar la representación de información clínica y biomédica de forma que pueda servir de ayuda a la investigación por medio de herramientas informáticas. En este contexto, los recursos de tipo vocabulario se han desarrollado con propósitos de búsqueda bibliográfica, codificación de datos relacionados con la salud pública, e interoperabilidad de bases de datos. En su artículo los autores presentan la siguiente lista de las que ellos consideran son las terminologías, ontologías y vocabularios que han tenido mayor éxito con base en su aplicabilidad:

³⁷ <http://www.ifomis.org/bfo>

- El vocabulario de The Medical Subject Headings (MeSH) es un vocabulario de propósito general que fue publicado por primera vez en 1954 y que es utilizado en la indexación de literatura y recuperación de documentos de la base de datos de literatura médica de MEDLINE. Los términos encontrados en MeSH son utilizados para crear anotaciones de citas y resúmenes de artículos científicos con contenido biomédico. Las interfaces de MEDLINE, por ejemplo PubMed hacen uso de MeSH. Es un vocabulario controlado y organizado a manera de tesoro que consiste en conjuntos de términos o descripciones en una estructura jerárquica que permite la búsqueda en varios niveles de especificación.
- ICD fue publicado por primera vez en 1893 y es el estándar internacional para codificar información de diagnósticos de salud y registros vitales y también es comúnmente usado por hospitales. La versión 10 (ICD10) es una clasificación internacional que pertenece a la familia de la Organización Mundial de la Salud (WHO) diseñada para promover la comparación internacional en la obtención, procesamiento, clasificación y presentación de diagnósticos en epidemiología, administración de la salud y estadísticas de mortalidad. ICD10 es una clasificación de enfermedades y otros problemas de salud diseñada con el propósito de compilar datos estadísticos de enfermedades y causas de muerte, y por lo tanto es utilizado en el registro de este tipo de problemas, por ejemplo en certificados de defunción. Estos registros posteriormente son utilizados para recabar información estadística sobre la mortalidad nacional por países miembros de WHO. Está organizado como una jerarquía de términos en donde cada uno corresponde al nombre de una enfermedad y está vinculado un código de más de 6 dígitos de longitud que indica el lugar del término en la jerarquía. La cobertura de ICD10 en el dominio de enfermedades de tipo infeccioso es amplio pero la información acerca de otros aspectos de enfermedades es limitado, es por eso que ICD10 se considera un recurso escaso.
- SNOMED-CT publicado por primera vez en 1965, fue desarrollado inicialmente para dar soporte a la documentación de datos sobre patología y está proyectado a convertirse en el vocabulario de referencia mundial para documentación clínica estructurada. La intención de SNOMED-CT es documentar y reportar información del cuidado de la salud a través de procesos como el historial médico, padecimientos, tratamientos, resultados de laboratorio, etc. en aplicaciones de software utilizadas para la recopilación de datos clínicos. La intención es que el procesamiento de información de salud almacenada en los términos de SNOMED-CT se pueda utilizar para mejorar los resultados de los pacientes proporcionándoles especialistas que cuenten con información más completa así como fortalecer la investigación, evaluar la calidad y costo del cuidado de la salud, y diseñar lineamientos efectivos para los tratamientos. SNOMED-CT comprende conceptos, descripciones de conceptos y relaciones. Cada concepto es descrito por medio de su significado clínico y por las

relaciones entre ellos. La principal relación es de tipo “is_a” pero existen 50 tipos de relaciones más.

- GO, the Gene Ontology, creada en 1998, es un vocabulario para la documentación de datos relacionados con la genética que facilita la interoperabilidad entre un gran número de bases de datos especialmente en el dominio de la investigación de modelado de organismos.
- DO (Disease Ontology) es un vocabulario que fue desarrollado para el registro de muestras de DNA de pacientes recolectadas junto con la información de salud del paciente. Dentro de las motivaciones más amplias para la creación de DO se encuentran proporcionar un vocabulario de dominio público que pudiera ser utilizado en la minería de datos en lugar de registros médicos. DO está estructurada en forma de taxonomía de enfermedades con términos tomados principalmente de ICD con referencia a tipos de enfermedades. Su jerarquía intenta reflejar la relación de tipo “is_a” entre los distintos tipos de enfermedad, pocos términos se encuentran definidos pero las definiciones están expresadas en lenguaje natural frecuentemente tomadas de MeSH o SNOMED-CT. La estructura jerárquica actual de DO de alguna forma mejora la versión 9 de ICD, y los planes para mejoras posteriores se basan en la estrategia de alinear DO con SNOMED-CT.

En el mismo artículo ellos comentan que en la última década ha habido un incremento en la necesidad de terminologías con contenido médico y biomédico que den soporte a algoritmos computacionales más sofisticados que requieren de mayor precisión. Esto es una consecuencia de:

- El incremento en los volúmenes y tipos de datos e información proveniente de la investigación médica y biomédica, que requiere de la ayuda de sistemas informáticos para la interpretación de datos.
- La necesidad de implementar registros de salud electrónicos.
- El aumento de interés en las posibilidades de utilizar el razonamiento automático y CDSSs en la investigación biomédica.

3.2.3 GENERALISED ARCHITECTURE FOR LANGUAGES, ENCYCLOPEDIAS AND NOMENCLATURES IN MEDICINE (GALEN).

Una de las ontologías que ha servido como referencia para el desarrollo de otras ontologías y que se ha comprobado que su uso ha dado buenos resultados es GALEN (Generalised Architecture for Languages, Encyclopedias and Nomenclatures in

Medicine). En el artículo que presentan (Rector, Rogers & Pole, 1996) los autores se refieren a GALEN como un gran proyecto de desarrollo de servidores de ontologías y un sistema de entrada de datos en un Modelo de Referencia Común o CORE para terminologías médicas.

Este modelo de referencia es explicado en (Rector et al., 1994), un artículo donde se afirma que el modelo GRAIL (GALEN Reference and Integration Language) consiste en una jerarquía de entidades elementales y un conjunto de enunciados que restringen la conexión entre estas entidades. Estos enunciados expresan las directrices con las cuales se pueden formar los conceptos compuestos. Los conceptos compuestos pueden en sí mismos formar parte de otros enunciados de restricción.

Los modelos conceptuales u ontologías representados por medio de la descripción lógica se han convertido en el tema central de muchos esfuerzos para reutilizar las terminologías médicas. Esto se afirma en (Rector & Rogers, 1999). En ese trabajo los autores comentan que los desarrolladores de cualquier tipo de ontología deben tomar una serie de decisiones relacionadas con la forma en cómo se deben representar los conceptos, sin embargo los principios de las estructuras ontológicas para guiar a los desarrolladores todavía son escasos. Como parte de ese mismo artículo ellos hacen referencia al proyecto GALEN diciendo que lo que busca es proporcionar recursos terminológicos reutilizables para los sistemas clínicos, y recalcan que la parte principal de GALEN es el uso de una ontología y el Modelo de Referencia Común (CRM) formulado por medio de descripción lógica especializada llamada GRAIL. Los autores mencionan que la principal característica de GALEN es que divide el problema de la representación del conocimiento médico y las terminologías en dos partes distintas, cada una de las cuales es procesada por un módulo de software diferente. Uno de los módulos más importantes es precisamente GRAIL el cual se encarga de la representación de conceptos por medio de una ontología, modelo o esquema expresado por medio de descripciones lógicas. Además, como parte de la estructura de GALEN se puede identificar los siguientes elementos de la ontología:

- Una jerarquía de categorías elementales.
- Una jerarquía de enlaces semánticos que conectan a las categorías elementales. En GALEN a estos enlaces se les conoce como “atributos”.
- Un conjunto de definiciones de conceptos compuestos que están contruidos a partir de conceptos básicos.
- Un conjunto de factores o axiomas acerca de estos conceptos.
- Un conjunto de restricciones que definen qué conceptos deben ser vinculados con otros por medio de enlaces semánticos específicos.

Los autores sostienen la teoría de que el objetivo general de las terminologías es proporcionar soporte a los CDSSs permitiendo que la información sea grabada en registros electrónicos de pacientes, que sea abstraída a partir de ellos, reorganizada para ofrecer vistas más claras de la información de los pacientes, integrada para su administración e investigación, y enlazada con otros recursos de conocimiento.

Concluyen diciendo que los principales objetivos de GALEN se pueden enunciar en términos de:

- Expresividad. La habilidad de representar formalmente los conceptos médicos como síntomas, enfermedades, procedimientos, etc.
- Abstracción. La habilidad de definir categorías genéricas de tales conceptos, describir las relaciones entre ellos y organizarlos de forma confiable.

En el trabajo de (Trombert-Paviot et al., 2000) los autores dicen que el gran volumen de conocimiento médico en la mayoría de los casos es expresado en forma de texto plano, y que para algunos objetivos específicos es necesario utilizar un vocabulario de clasificaciones controlado y sistemas de codificación que sean una combinación de una terminología y un conjunto de códigos. Además, la necesidad de diferentes generaciones de terminologías se ha incrementado con el desarrollo de los EPR (Electronic Patient Record) que se comparten entre profesionales de la salud y organizaciones. Como parte de su investigación ellos separan la evolución de las terminologías en generaciones de la siguiente forma:

- La primera generación corresponde a terminologías con listas de vocabularios controlados mayormente escritas en papel como el caso de la clasificación ICD.
- La segunda generación de terminologías está compuesta por una representación de múltiples categorías de conceptos que permiten su reclasificación gracias a que presentan una estructura jerárquica como en el caso de SNOMED-CT. Estas necesitan el soporte de sistemas de ordenador.
- En la tercera generación las terminologías están basadas en un modelo conceptual formal que permite la representación de todas las sentencias médicas como el modelo utilizado en GALEN.

Además comentan que las herramientas de IA (Inteligencia Artificial) ofrecen la posibilidad de trabajar con estas terminologías. Por medio de estas herramientas de IA, el proyecto GALEN proporciona estructuras que representan el dominio del conocimiento médico por medio de las cuales se pueden utilizar aplicaciones multilingües. Los autores también mencionan que GALEN ha desarrollado una nueva generación de herramientas de terminologías basadas en un modelo independiente del

lenguaje que describe la semántica y permite que la información sea procesada por ordenadores y la múltiple reutilización, así como el entendimiento del lenguaje natural por parte de sistemas o aplicaciones, y con esto facilita el compartir y mantener el conocimiento médico de una forma consistente. Así mismo, afirman que en Europa GALEN ha sido un intento por representar información médica con independencia del lenguaje y de forma estructurada. También estos autores hacen referencia en su trabajo a GRAIL como un repositorio completo que proporciona una ontología de conceptos y relaciones de alto nivel y multi-herencia a través de la cual se pueden definir varias restricciones para la representación de conceptos de un dominio determinado. Este enfoque define un modelo de estructura general de conceptos médicos y ha sido extendido a través de la segunda fase de del programa GALEN llamado GALEN-IN-USE, el cual tiene como objetivo poblar este modelo para solventar la necesidad de permitir el contenido por parte de las aplicaciones clínicas. Para esto, diferentes países en Europa, por ejemplo Bélgica, Alemania, Grecia e Italia actualmente están aplicando las herramientas de GALEN y los métodos para ayudar en la construcción colaborativa de clasificaciones de procedimientos quirúrgicos así como para asegurar el mantenimiento, extensibilidad y coherencia de los ya existentes. Finalmente se afirma que el proyecto GALEN formaliza el significado de términos del dominio médico y actualmente contiene más de 13 mil entidades de las cuales más de 800 son relaciones y las demás son conceptos. De estos conceptos 5700 son compuestos, por lo tanto requieren del mantenimiento o actualización constante de sus correspondientes definiciones.

Otra aportación importante con relación al proyecto GALEN es la que presentan (Rector et al., 2003) en la que hacen referencia a la fundación OpenGALEN, una organización registrada por Holanda, similar a una fundación de caridad, encargada de promocionar la tecnología GALEN a la industria de sistemas enfocados al cuidado de la salud. OpenGALEN Foundation proporciona acceso libre a recursos específicamente del modelo de referencia común de GALEN, una gran ontología del dominio médico centrada principalmente en la anatomía humana. Otros contenidos están relacionados con psicología humana, patología y sintomatología así como farmacología.

3.2.4 INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF DISEASES (ICD10).

Por su parte (Héja et al., 2007) mencionan en su artículo que el indexado de diagnósticos médicos es una tarea difícil y está propensa a errores. Proporcionar asistencia a la codificación manual es un área de investigación importante desde hace varias décadas en la informática médica, y a pesar de todos los esfuerzos el problema no se ha logrado resolver. En su trabajo ellos hablan específicamente del sistema de clasificación ICD10. Dicen que es la clasificación de enfermedades más frecuentemente utilizada en Europa y que se encuentra organizada en los siguientes 5 niveles:

- 21 capítulos que agrupan a las enfermedades en categorías. Uno de los capítulos contiene la clasificación internacional de oncología basada en SNOMED-CT.
- Los capítulos contienen secciones que agrupan enfermedades similares, por ejemplo la gripe y la Neumonía.
- Las secciones contienen grupos que reúnen enfermedades muy similares. Los grupos son definidos por códigos de tres caracteres.
- Los grupos contienen elementos que definen enfermedades. Los elementos de estos grupos son definidos por códigos de cuatro caracteres.
- En algunos casos los elementos se encuentran subdivididos por medio de un quinto carácter. Esta subdivisión se deja para propósitos de cada país.

Cada categoría tiene un nombre y debe tener reglas de codificación locales, definiciones y comentarios. Los grupos y los elementos deben tener sinónimos y referencia hacia otras categorías. Dado que el objetivo es la representación formal del significado, estas piezas de información no son representadas explícitamente en la ontología.

Uno de los principales problemas que se observa en IDC10 es que a pesar de que su objetivo es clasificar todas las posibles enfermedades hay varias enfermedades clasificadas en la categoría “other” y “not otherwise specified” en el sistema de codificación. La última no causa mayor problema, sin embargo la representación formal de la categoría “other” es una tarea complicada. El problema es que el significado de “other” es difícil de ubicar en una estructura jerárquica porque no le corresponden nodos padres o nodos hermanos, esto es porque “other” significa algo que no se puede encontrar en toda la clasificación, por esta razón se necesita una revisión más detallada de todo el sistema de codificación. Otro problema es que la misma enfermedad puede aparecer en partes totalmente diferentes de la clasificación. Esto es una de las causas por las cuales los médicos encuentran dificultades al usar ICD10.

3.2.5 MENELAS.

El gran aumento en los servicios de salud en las últimas décadas ha creado un incremento exponencial en la información relacionada con la salud lo cual deriva en una demanda creciente de almacenamiento de esta información. Como respuesta a esto, el almacenamiento de la información en papel ha sido remplazado paulatinamente por EPRs desarrollados para los HIS (Hospital Information Systems). Sin embargo, un gran número de aplicaciones requieren de información que se encuentra predominantemente en PDSs (Patient Discharge Summaries). Esta información está ampliamente disponible y es un recurso de bajo costo, sin embargo, con la tecnología actual no hay forma de

tener acceso directo a la información que está contenida en forma de texto plano y por lo tanto se necesitan nuevos sistemas que puedan recuperar esa información por medio de técnicas de procesamiento de lenguaje natural. Esto es uno de los objetivos del proyecto MENELAS cuyo diseño comprende los siguientes servicios (Zweigenbaum, 1994):

- El personal administrativo de la unidad médica debe consultar su propia pizarra electrónica de actividades.
- El personal médico también debe tener acceso a los PDSs para agrupar a los pacientes que tengan características específicas para que mediante este grupo se permita alguna forma de razonamiento basado en casos.
- La característica anterior permite hacer pruebas de hipótesis de investigación basadas en la muestra de pacientes.
- Para cada PDSs se producen automáticamente códigos de nomenclatura. Esto contribuye a una de las principales tareas, la estandarización, clasificación y codificación de datos.

Estos servicios deben ser implementados a manera de subsistemas modulares que se pueden desarrollar gradualmente. Además MENELAS está organizado en torno a tres sistemas principales:

- El sistema de indexado de documentos, el cual analiza los PDSs y almacena la información en una base de datos como un conjunto de estructuras conceptuales.
- El sistema de consulta que permite a los médicos y al personal administrativo tener acceso a los PDSs por su contenido por medio de interfaces amigables de usuario.
- El sistema de administración que permite la personalización de la base de conocimiento del sistema.

Como parte de su investigación en torno a las ontologías de dominio médico y biomédico (Zweigenbaum et al.,1995) mencionan que la principal meta del proyecto MENELAS es proporcionar un mejor acceso a la información contenida en lenguaje natural en los PDSs a través del diseño e implementación de un prototipo con la capacidad de analizar texto médico. El enfoque de MENELAS está basado en los siguientes principios clave:

- Maximizar el análisis del lenguaje natural y la usabilidad de sus resultados. El resultado del análisis del lenguaje natural debe ser una representación conceptual normalizada de información médica.
- Maximizar la reutilización de recursos. El análisis del lenguaje debe ser independiente del dominio y la representación conceptual debe ser independiente del lenguaje.

En ese mismo artículo los autores agregan que el procesamiento del lenguaje natural con contenido médico es hoy en día un campo de investigación bastante desarrollado y se han construido un gran número de prototipos y sistemas para varios lenguajes y propósitos. Ellos dicen que los objetivos de MENELAS se pueden distribuir en dos categorías:

- Servicios a nivel de usuario, que serán creados o fortalecidos por medio de la extracción de información médica desde texto plano.
- Avances en las tecnologías de procesamiento de lenguaje médico.

A nivel técnico las metas del proyecto han sido adaptar y desarrollar tecnologías avanzadas de análisis de texto para construir una representación adecuada de la información médica contenida en los PDSs. Para esto, la información médica relevante contenida en los textos es extraída y estructurada de acuerdo a una representación normalizada de conceptos. Esta representación es una forma abstracta de su forma lingüística original, además es robusta con respecto a la variabilidad y flexibilidad del lenguaje. Los códigos para la clasificación o nomenclatura son tomados de ICD-9 y se pueden generar consultas para obtener información específica contenida en los PDSs. Finalmente, un beneficio directo es que los componentes que implementan estos servicios no necesitan tener ningún conocimiento del lenguaje natural inicial utilizado como texto de entrada y tampoco se tienen que enfrentar a problemas de lenguaje natural como la sinonimia.

El entendimiento del lenguaje natural médico básicamente tiene como objetivo la representación del contenido de textos médicos en una estructura conceptual formal. En ese artículo el autor agrega que el diseño de tal representación conceptual es la clave para la adquisición de conocimiento porque cuando se representa el conocimiento, el punto más importante es asegurarse que la explotación de tal representación del conocimiento sea conforme al significado en el dominio. De esta forma el entendimiento del lenguaje médico tiene como objetivo la extracción de información contenida en textos médicos de manera que estos contenidos se puedan representar de forma estructurada, por lo tanto constituye la base para las tareas del manejo de información o conocimiento tales como recuperación de información, codificación y aseguramiento de la calidad. El problema básico es expresar este conocimiento en una representación formal adecuada para su explotación con herramientas informáticas. El

autor menciona su participación en el proyecto MENELAS en donde su principal objetivo fue crear una aproximación lo más exacta posible de la representación del conocimiento médico para obtener la mejor correspondencia posible entre los símbolos utilizados por el ordenador y la interpretación humana. En el proyecto MENELAS se hace uso de Grafos Conceptuales que han sido utilizados por un gran número de autores para el procesamiento de lenguaje médico y la representación de conceptos médicos.

La experiencia acerca de la existencia de HISs destaca el hecho de que la mayoría de la información médica relevante se encuentra almacenada de forma narrativa en PDSs. El objetivo de estos PDSs es la transmisión del mínimo pero suficiente conjunto de datos que puedan ser utilizados en la siguiente visita del paciente. Se puede entonces llegar a la conclusión de que las dos principales metas del proyecto MENELAS son 1) proporcionar un mejor acceso a la información médica que se encuentra en lenguaje natural con el objetivo de ayudar a los médicos en su práctica diaria, y 2) fortalecer la colaboración europea por medio del acceso multilingüe para estandarizar las nomenclaturas médicas. Los dos principales logros de MENELAS son la realización de dos sistemas funcionales. El primero es un sistema de indexado de documentos el cual codifica el texto plano en una representación interna (Un conjunto de grafos conceptuales) y en una nomenclatura de códigos internacionales (ICD-9). Las instancias de este sistema de indexado de documentos han sido realizadas para francés, inglés y alemán. El segundo es un sistema de consulta que permite a los usuarios tener acceso a la información contenida en los PDSs y que previamente ha sido indexada por el sistema de indexado de documentos.³⁸

3.3 ONTOLOGÍAS COLABORATIVAS

Algunos enfoques hacia la colaboración se pueden encontrar en ontologías como AceWiki (Kuhn, 2008) que ha sido presentada como un prototipo que utiliza lenguaje natural controlado que es traducido automáticamente en lógica de primer orden, OWL o SWRL. AceWiki es utilizado por una comunidad de expertos en el dominio para crear y mantener una base de conocimiento formal de una forma colaborativa. En el sitio Web de AceWiki se puede leer que posee un razonador que asegura que el contenido del Wiki es siempre consistente, y que el razonador es utilizado para inferir los resultados desplegados en ACE (Attempo Controlled English). La principal ventaja del AceWiki es que puede ser utilizado por gente que no sea experta en lógica u ontologías. Otro interesante caso es el de OntoWiki (Hepp, Bachlechner & Siorpaes, 2006), en donde se afirma que las ontologías no son solo representaciones formales de un dominio sino más bien contratos comunitarios. Esta afirmación fortalece la idea de que las ontologías deben ser construidas y mantenidas en un ambiente colaborativo junto con otros expertos en el dominio. En este caso se propone el uso de Wikis como bases de ingeniería para las ontologías. La idea fundamental de OntoWiki es utilizar el

³⁸ <http://estime.spim.jussieu.fr/Menelas/>

mecanismo Wiki para crear URIs para cada concepto necesario, describir el concepto utilizando lenguaje natural y después enlazarlo con los que ya se encuentren definidos en Wikipedia.

Hay un cambio dramático en la forma en que los científicos construyen ontologías, por dos razones principales. La primera es que puede ser utilizada para muchos dominios científicos, y la segunda es su tamaño, que no permite que un usuario o un pequeño grupo de personas tengan la capacidad de desarrollarla eficientemente. Un ejemplo de esto es Collaborative Protégé, un editor de ontologías que soporta colaboración a través de algunas características como chats o discusiones (Tudorache et al., 2008). Otro esfuerzo de colaboración es la fundación OBO (Open Biomedical Ontologies) (Smith et al, 2007), a cuyos principios acerca del diseño de ontologías, mencionados anteriormente, se puede agregar que las ontologías deben estar preparadas para aceptar modificaciones como resultado de un debate comunitario. Hoy en día la fundación OBO tiene casi cien ontologías. Dos casos más son Tadzebao y WebOnto (Domingue, 1998). La primera permite a los ingenieros de conocimiento mantener discusiones síncronas y asíncronas acerca de ontologías, la segunda es una herramienta para búsquedas colaborativas y edición de ontologías, el cual utiliza un cliente java para mitigar los problemas de interfaz generados por HTML.

3.4 CONCLUSIONES.

En este capítulo se han descrito UMLS y SNOMED-CT, dos de las terminologías más utilizadas en el dominio médico y biomédico. Ambas terminologías representan grandes esfuerzos por lograr la estandarización de la representación del conocimiento médico. Aun cuando las investigaciones han alcanzado buenos resultados, estas terminologías presentan algunos problemas, estando la mayoría de ellos basados en la falta de sentido semántico observada en las relaciones que se establecen entre sus conceptos y en sus estructuras jerárquicas, lo cual dificulta su uso por parte de los CDSS y los CIS.

Por otra parte, desafortunadamente los vocabularios médicos y biomédicos existentes son en muchas formas incompatibles porque han sido creados para diferentes propósitos y por diferentes comunidades de desarrolladores. Los desarrolladores utilizan diferentes acuerdos para establecer los nombres, diferentes modos de clasificación, diferentes tipos de relaciones, diferentes formalismos, diferentes estructuras lógicas y lingüísticas y todo eso deriva en una semántica diferente. Por lo tanto, los vocabularios resultantes son en muchas ocasiones inadecuados para propósitos de compartir información médica, es decir, no son del todo interoperables y la mayoría no permite procesos informáticos sofisticados como por ejemplo métodos de inferencia. Además, sus representaciones carecen tanto de una estructura formal como de la cobertura de dominios biológicos relevantes.

En cambio, debido a la capacidad de dar soporte informático, a su interoperabilidad y al razonamiento, las ontologías se han convertido en el nuevo tipo de terminología que pueden proporcionar los fundamentos necesarios para la investigación médica y biomédica en el futuro.

Tanto las terminologías como las ontologías son grandes esfuerzos que intentan resolver los problemas relacionados a la representación del conocimiento médico. Si bien las terminologías ofrecen a los usuarios una cantidad enorme de información del dominio médico, su principal problema se puede observar en su estructura ya que la misma cantidad de información que almacena hace que su organización sea complicada de forma que los conceptos que encuentran en ellas pueden estar repetidos en diferentes partes de su estructura jerárquica, e incluso puedan estar relacionados con diferentes definiciones, y en otras ocasiones pueden no estar relacionados con otros conceptos con los que deberían estarlo, generando con esto problemas de overlapping (solapación), polisemia y sinónima, ambigüedad e inconsistencia.

Finalmente, las ontologías ofrecen una mejor solución a los problemas antes mencionados ya que la cantidad de datos que almacenan suele estar organizada y estructurada de una mejor forma en comparación con las terminologías, además de estar enfocada la mayoría de las veces a propósitos específicos, aunque a veces también resulta demasiado excesivo. Además, las ontologías al igual que las terminologías son el resultado de un trabajo colaborativo en el que participan varios grupos de desarrolladores. Esto puede provocar problemas al momento de tratar de hacer la integración entre ellas por tener conceptos, definiciones y relaciones diferentes.

Tomando en cuenta las ventajas y problemas que se logran observar en las terminologías y ontologías presentadas hasta ahora, se ha tomado la decisión de usar una terminología que responda de mejor forma a las necesidades de esta investigación. La terminología que se ha decidido utilizar es SNOMED-CT. Tomando como referencia el trabajo de (Asbeh et al, 2006), no existe un vocabulario médico comúnmente aceptado. Los vocabularios como ICD-10 no logran satisfacer las necesidades de los médicos, quienes algunas veces tratan de crear su propia lista de diagnósticos. Los resultados obtenidos tras el uso de estos vocabularios en la mayoría de los casos muestran problemas de inconsistencia. También afirman que estos problemas de inconsistencia pueden derivar en errores de diagnósticos. Sin embargo, en el estudio que ellos hacen han encontrado que SNOMED-CT es el vocabulario más completo, cubre el 85.7% de los términos de UMLS.

Con base en la problemática que tanto terminologías como ontologías presentan, para el caso particular de este estudio, se ha tomado la decisión de reutilizar una estructura ontológica formada por un conjunto de ontologías individuales relacionadas entre sí y respetando la nomenclatura de códigos de SNOMED-CT con la finalidad de hacerla interoperable y de que cada una de las ontologías pueda ser reutilizada para otros

propósitos. La estructura de este conjunto de ontologías se encuentra descrita en (Rodríguez-González et al., 2012) y se explica a detalle en el capítulo 5.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La problemática que se plantea gira entorno a la inteligencia colaborativa y cómo esta puede afectar a la exactitud en la obtención de los diagnósticos médicos por medio de la utilización de tecnologías semánticas.

De esta tesis se desprenden cuatro principales vertientes. Por una parte la inteligencia colaborativa que representa la característica más potente de las redes sociales, en segundo término el área médica como disciplina que exige un nivel de exactitud máximo, las tecnologías semánticas que ofrecen formas de representación del conocimiento, en este caso, conocimiento médico, y finalmente los sistemas de soporte a la decisión que en combinación con las tecnologías semánticas permiten realizar procesos de inferencia y dar recomendaciones.

4.1 PROBLEMATICA

El problema que se ha observado es que, en el entorno médico y biomédico los profesionales colaboran unos con otros como práctica común enfocada a que por medio del intercambio de información se puedan obtener diagnósticos más acertados y con ello ofrecer una mejor atención al paciente. Sin embargo, esta colaboración queda reducida muchas veces a ser de tipo presencial por lo que la cantidad de médicos que pudieran participar en el proceso diagnóstico es mínima o inexistente. Por otro lado, las plataformas colaborativas como las que se han presentado, si bien ofrecen información valiosa, al parecer, esta información no se encuentra almacenada en alguna estructura que permita su reutilización, la interoperabilidad y tampoco hay muestras de que sea utilizada por sistemas que den soporte a la decisión médica en términos diagnósticos. Además, el formato en el que se encuentra esta información no permite establecer métodos de consenso que puedan conjuntar las distintas opiniones médicas que se generan.

4.2 OBJETIVOS

El objetivo general que se pretende alcanzar con esta investigación es determinar el grado en que la inteligencia colaborativa puede afectar al nivel de exactitud de los diagnósticos médicos generados por un sistema de soporte a la decisión.

Para lograr el objetivo general se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Hacer uso de tecnologías semánticas para al almacenamiento y representación del conocimiento individual.

- Desarrollar una plataforma que permita a cada experto la edición de su propia base de conocimiento con la finalidad de que pueda hacer el modelado de las enfermedades que se encuentren en la misma.
- Definir algoritmos de consenso que conjunten el conocimiento individual almacenado en las diferentes bases de conocimiento.
- Generar las bases de conocimiento consensuadas con base en los algoritmos previamente definidos.
- Calcular el grado de exactitud que estas bases de conocimiento consensuadas ofrecen al ser utilizadas por un CDSS.

4.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se inicia con una revisión detallada de los conceptos relacionados con la inteligencia colaborativa, tema central de esta tesis. Como parte de los conceptos que se han analizado se encuentran las redes sociales y los entornos colaborativos informatizados, mejor conocidos como aplicaciones Web 2.0, por ser estos los mayores exponentes de inteligencia colaborativa en Internet. La revisión de este tipo de entornos incluye una evaluación de las características de algunos portales de Internet que ofrecen información de dominio médico que dan origen a la problemática definida en esta tesis.

De igual forma se han estudiado y se han analizado las principales formas de representación del conocimiento médico, principalmente terminologías y ontologías. Este análisis se ha enfocado en conocer su estructura y los alcances que cada de una de ellas ofrece a los usuarios.

Con base en la documentación recabada sobre los conceptos anteriormente mencionados y que forman parte del marco teórico de esta investigación se ha optado por utilizar una estructura ontológica con información estructurada. Esta estructura ontológica básicamente define relaciones entre enfermedades y sus signos/síntomas y sus pruebas diagnósticas.

El siguiente paso en la metodología ha sido el diseño de la arquitectura y desarrollo del software que se la ha hecho llegar a los expertos y que ha servido como herramienta para la obtención de datos.

Para esta investigación se ha utilizado una versión reducida de la estructura ontológica propuesta en (Rodríguez-González et al., 2012). La versión completa de esta estructura ontológica está formada por un conjunto de 30 enfermedades. La versión reducida que se ha utilizado en este estudio está formada por un conjunto de 10 enfermedades, cinco

para cada uno de los experimentos que se han diseñado. Se ha decidido utilizar como muestra representativa una versión reducida de la base de conocimientos original debido a la gran cantidad de datos que supone utilizar las 30 enfermedades iniciales ya que cada enfermedad tendría que ser modelada por con cinco médicos cada una y posteriormente aplicarle tres métodos de consenso, en donde el primer contempla cinco niveles, el segundo método de consenso requiere hacer comparaciones entre todas las bases de conocimiento de cada enfermedad y de cada médico, y el tercer método de consenso requiere igualmente de estas comparaciones pero contra el estándar de oro. La versión reducida contiene 5 enfermedades por cada experimento. Las enfermedades fueron seleccionadas utilizando como criterio el número de indicios con los que dichas enfermedades guardan relación, de tal forma que se han seleccionado aquellas cuya cantidad de indicios fuera mayor porque suponen un mayor grado de participación de los expertos en ambos experimentos.

Además, se ha diseñado y desarrollado una aplicación de software que permite a los expertos hacer el modelado de las enfermedades utilizando una base de conocimiento propia. El modelado consiste en establecer o eliminar relaciones entre las enfermedades correspondientes a cada experimento y sus indicios. Los indicios de cada enfermedad son aquellos signos/síntomas y pruebas diagnósticas que un paciente debería presentar o manifestar para ser diagnosticado con una enfermedad en particular.

Para el caso de ambos experimentos, en caso de que los indicios que el médico desee agregar no se encuentren en la base de conocimientos el médico desde la propia aplicación podrá hacer una búsqueda en la terminología SNOMED-CT.

Para la obtención de resultados se han definido tres métodos de consenso diferentes descritos más adelante junto con la arquitectura de la aplicación. El objetivo de estos métodos de consenso es hacer un análisis de las similitudes o diferencias entre las diferentes bases de conocimiento individuales obtenidas a partir de la participación de los expertos. Para cada caso, este análisis debe generar como resultado una base de conocimiento consensuada, la cual contiene el modelado del conocimiento con el cual los expertos han logrado acuerdos.

Para el caso de ambos experimentos las bases de conocimiento de los expertos son sometidas a los tres métodos de consenso. Además, en el caso del experimento 1, se realizará un análisis sobre los datos introducidos, con el objetivo de ver, en enfermedades completamente indefinidas, como los médicos en función de su conocimiento médico han actuado y que indicios han aportado.

Una vez que se tengan las bases de conocimiento consensuadas se procede a la elaboración de las pruebas. Las pruebas consisten en tomar cada una de las bases de conocimiento consensuadas y comparar los valores de las métricas al momento de obtener diagnósticos con los resultados generados por otro sistema que se ha tomado como estándar de oro. En este caso, el estándar de oro es el sistema ODDX (García-

Crespo et al., 2010). ODDX es un sistema de diagnóstico médico conducido por ontologías que utiliza para la obtención de diagnósticos diferenciales estrategias tales como procesamiento de probabilidades de varios factores e inferencia lógica. Se trata de un software de diagnóstico médico cuyo objetivo es proveer al usuario de un sistema experto que permite la determinación de diferentes diagnósticos médicos generados a partir de una colección de indicios. Los diagnósticos producidos por el sistema no pueden ser tomados como el único factor para ser usado en la toma de decisiones, además tiene que ir acompañado del conocimiento de un experto médico. Sin embargo, esta herramienta de diagnóstico puede proveer una asistencia invaluable al momento de tomar decisiones médicas. Esta herramienta está realizada a manera de un sistema de soporte médico, el cual sugiere al usuario un conjunto de diagnósticos ordenados en términos de mayor o menos probabilidad. Su estructura no obedece a una arquitectura tradicional como por ejemplo cliente-servidor. La idea de ODDX es combinar todos los componentes que se utilizan en el proceso de obtención de diagnósticos como un grupo de módulos o motores que cuando se integran permiten inferir nuevo conocimiento y realizar diagnósticos. Los módulos que conforman ODDX son los siguientes:

Sistema probabilístico: Este componente es el responsable de administrar y/o calcular las probabilidades de cada uno de los diagnósticos inferidos. Cada enfermedad que sea diagnosticada a partir de un grupo de indicios tiene su propia probabilidad. Esta probabilidad y un desglose detallado será calculada por el sistema probabilístico.

Sistema de carga de datos: Este es el motor que realiza la carga de datos desde la ontología. Utiliza la API de Jena³⁹ para leer el fichero con la ontología, el cual es un entorno de programación Java de código abierto que se utiliza para aplicaciones de Web semántica y soporta el uso de varios lenguajes como Resource Description Framework (RDF), Resource Description Framework Schema (RDFS), Ontology Web Language (OWL) y Query Language For RDF (SPARQL). La ontología contiene todos los datos que se necesitan para realizar el diagnóstico, tales como enfermedades, síntomas y fármacos. Estos datos son cargados en memoria para que el usuario pueda interactuar fácilmente con la aplicación.

Sistema de combinación: Este sistema procesa todas las combinaciones de diagnósticos posibles que pudieran darse como resultado de la interacción con fármacos. Básicamente es un método que permite, dado un paciente con un grupo de indicios y fármacos asociados, el cálculo de las posibles interacciones que pudieran ser causadas por dichos fármacos.

Sistema de inferencia: El motor de inferencia es el principal motor de la aplicación porque es el componente que realmente permite la obtención de diagnósticos. Este motor necesita el acceso a las bases de conocimiento con las enfermedades, síntomas, etc, y al mismo tiempo necesita acceso a la base de conocimiento con las reglas de

³⁹ <http://jena.apache.org/>

inferencia. Con la combinación de ambas y la API de Jena ODDX realiza las inferencias que dan como resultado los diagnósticos. Por lo tanto, el sistema se comporta como un sistema experto basado en reglas.

Sistema de búsqueda: Este componente funciona como un motor de búsqueda el cual realiza consultas SPARQL a la ontología para consultar todos los datos almacenados en ella. Esto permite acceso rápido a todos los datos almacenados en la ontología.

El desempeño efectivo de ODDX radica en las capacidades de razonamiento e inferencia ofrecidas por las ontologías. Los principales componentes de su funcionamiento se encuentran divididos en dos elementos:

- Una ontología basada en diagnósticos diferenciales
- Reglas de inferencia, que permiten el razonamiento para obtener el conocimiento correcto.

Los componentes mencionados anteriormente han sido construidos utilizando Jena Rules.

La arquitectura del sistema ODDX se muestra en la figura 4.

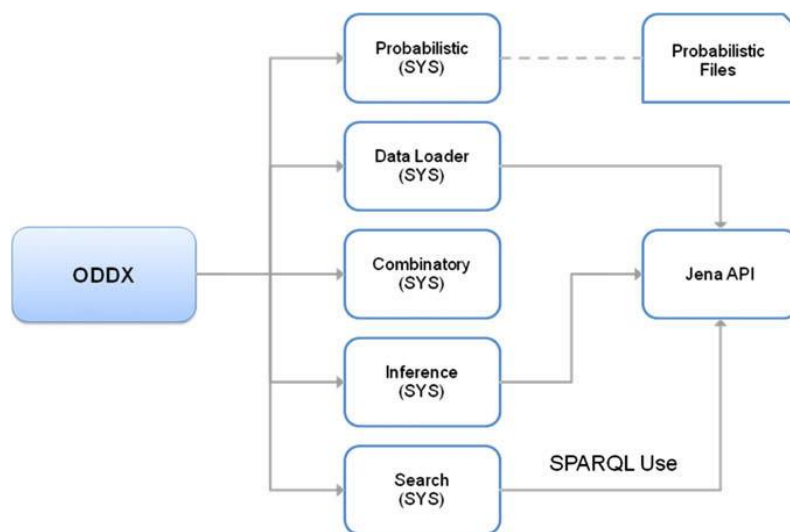


Figura. 4 Arquitectura ODDX

La obtención de resultados de esta investigación consiste en reproducir datos numéricos. Estos datos numéricos son los que se deberán comparar con los valores de las métricas generados por el sistema al utilizar la base de conocimiento original contra los resultados generados por el sistema al utilizar cada una de las bases de conocimiento consensuadas.

Dado que se trata de un sistema de soporte a la decisión médica enfocado en la obtención de diagnósticos, en donde solamente pueden existir dos resultados

(sano/enfermo) se considera como un problema de decisión binaria. En el trabajo de (Davis & Goadrich, 2006) los autores dicen que en un problema de decisión binaria un clasificador etiqueta los casos como positivos o negativos. La decisión tomada por el clasificador puede ser representada en una estructura llamada matriz de confusión o tabla de contingencia. Esta matriz tiene cuatro categorías:

- Verdaderos Positivos: Son casos correctamente etiquetados como positivos. Es decir, casos en donde el diagnóstico es positivo y la enfermedad se encuentra presente.
- Falsos Positivos: Son casos negativos incorrectamente etiquetados como positivos. Esto es, casos en donde el diagnóstico es positivo pero en realidad el paciente no presenta la enfermedad.
- Verdaderos Negativos: Son casos negativos correctamente etiquetados como negativos. Es cuando el diagnóstico es negativo y el paciente no presenta ninguna enfermedad.
- Falsos Negativos: Se refiere a casos positivos incorrectamente etiquetados como negativos. Es decir, cuando el diagnóstico es negativo pero la enfermedad está presente.

Las métricas por medio de las cuales se evalúa el sistema en esta investigación se describen a continuación con base en la investigación de varios autores.

En el trabajo de (Powers, 2011) se definen las métricas precision y recall de la siguiente forma.

Precision se refiere a la proporción de predicciones positivas que sea han sido identificados y que son verdaderos positivos, es decir, que son correctas. Es el grado en el cual se repiten los mismos resultados bajo las mismas condiciones.

Recall (Sensitivity) es la proporción de casos positivos que son identificados de forma correcta. En el contexto médico es considerada como primaria ya que el objetivo es identificar todos los casos positivos reales. Esto se refiere al porcentaje de pacientes enfermos que han sido diagnosticados correctamente.

En el trabajo de (Sokolova, Japkowicz, & Szpakowicz, 2006) se definen las métricas accuracy y specificity que se han utilizado para esta investigación.

Accuracy mide el grado de proximidad de los valores de las mediciones con respecto a un valor real o verdadero. Esto es, la proporción de respuestas correctas. Es similar a Precision pero más completa ya que toma en cuenta los resultados negativos. Mide la eficacia del algoritmo para mostrar la probabilidad de que el valor positivo o negativo sea etiquetado correctamente.

Specificity mide la probabilidad de que los resultados verdaderos negativos sean identificados correctamente. Por ejemplo, el porcentaje de personas sanas que son

correctamente identificadas como tal. Un valor alto en esta métrica indica la utilidad del sistema para confirmar los diagnósticos.

En el artículo de (Baldi et al., 2000) los autores dan la siguiente definición del Coeficiente de Correlación de Matthews.

MCC (Matthews Correlation Coefficient) Mide la calidad de las clasificaciones binarias. Toma en cuenta los valores verdaderos y falsos positivos y negativos y es generalmente reconocida como una medida global. Es en esencia un coeficiente de correlación entre lo observado y las clasificaciones binarias. Esta métrica permite una medición más balanceada de los parámetros anteriores.

El análisis de los resultados es la fase en la cual se observan los datos numéricos en búsqueda de las diferencias entre los valores arrojados por el sistema al utilizar la base de conocimiento que representa el estándar de oro y al utilizar las bases de conocimiento consensuadas. Estas diferencias de valores deben ayudar a determinar si es que la inteligencia colaborativa mejora o no la exactitud de los diagnósticos diferenciales y en qué medida.

La información obtenida a partir del análisis de los resultados debe ser suficiente para la verificación de las hipótesis y posteriormente conducir a las conclusiones oportunas.

4.4 PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS

En el primer experimento se presenta una base de conocimiento no poblada. Esta base de conocimiento contiene un conjunto de cinco enfermedades (Bronquitis, Cólera, Gastroenteritis, Meningitis y Neumonía) a las que no se les ha definido relación alguna con signos/síntomas. Para este primer experimento cada uno de los expertos debe hacer el modelado de estas cinco enfermedades. El modelado consiste en agregar los indicios (signos/síntomas) que con base a su experiencia cada uno de los expertos determine que son necesarios para obtener el diagnóstico diferencial de cada enfermedad.

En el segundo experimento se presenta una base de conocimiento poblada. Esta base de conocimiento contiene un conjunto de cinco enfermedades (Asma, Resfriado Común, Pancreatitis, Sinusitis y Tuberculosis) cada una de las cuales está relacionada con un conjunto de indicios. El modelado en este experimento consiste en que los expertos con base en su experiencia para cada enfermedad eliminen las relaciones con los indicios que consideren que no son útiles para obtener el diagnóstico diferencial de dicha enfermedad y agreguen los indicios que consideren que deben tener relación con la enfermedad que se esté modelando.

Entendiéndose por entorno estructurado, aquel cuyo estructura y contenido ha sido definido previamente por expertos, y siendo en este caso que el entorno estructurado

procede de un sistema de diagnóstico ya existente donde el conocimiento se ha obtenido de la literatura médica, las hipótesis a verificar, que encapsulan la investigación y sus objetivos, son:

Hipótesis H1: La aplicación de la Inteligencia Colaborativa (IC) en un entorno ya estructurado puede alcanzar niveles de exactitud tan altos como los proporcionados por un sistema de diagnóstico médico tradicional, basado en un conocimiento presuntamente individual.

Hipótesis H2: El uso de IC puede incrementar la cantidad de indicios relacionados con cada enfermedad, sin embargo este incremento no guarda una relación directa con el nivel de exactitud alcanzada por el sistema de diagnóstico médico.

Hipótesis H3: Al utilizar una base de conocimiento poblada se logran alcanzar mayores niveles de acuerdo entre los médicos que al utilizar una base de conocimientos no poblada en donde los médicos no parten de un conocimiento base.

4.5 EVALUACIÓN

Varias metodologías de evaluación han sido estudiadas por (Kaplan, 2001) a partir de una revisión de la literatura haciendo énfasis en los cambios en el desempeño clínico que se pueden lograr con el uso de estos sistemas. Los métodos para evaluar los sistemas de diagnóstico médico no son comunes a los métodos para evaluar otro tipo de sistemas y pueden ser divididos en subjetivos, es decir, evaluaciones realizadas a través de entrevistas o encuestas, y objetivos, aquellos que miden por ejemplo la precisión y exactitud. De igual forma, el autor afirma en este artículo que la evaluación de los CDSS tiende a relacionarse con la precisión del sistema y en menor medida con la mejora en el desempeño de los médicos al usarlo, la funcionalidad y el impacto observado. Estas mediciones se pueden realizar por medio de la comparación con expertos, con otros sistemas o con un estándar de oro.

Se puede entender como estándar de oro aquella prueba que es aceptada y que se asume que es capaz de determinar el verdadero estado de salud de un paciente independientemente de los hallazgos positivos o negativos que muestren las pruebas. Es una medida reconocida para establecer una comparación de la eficacia o desempeño. Igualmente, en medicina el término estándar de oro es utilizado para describir un método o procedimiento que es ampliamente reconocido como el mejor disponible.⁴⁰

El estándar de oro representa el último estándar en medicina. Se trata de un término que proviene del ámbito financiero. En medicina el estándar de oro se utiliza comúnmente para describir las normas definitivas y decisivas. Es la medida contra la cual se mide

⁴⁰ <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/gold+standard>

todo lo demás. Es aquello contra lo cual se comparan los nuevos candidatos a las normas y que define la verdad. Los estándar de oro por lo tanto no parecen evolucionar, una vez que han sido reconocidos, su influencia es tan grande que suelen durar mucho tiempo.

Siguiendo los criterios de Kaplan, la evaluación de un sistema de estas características se debe realizar mediante la comparación del sistema actual con expertos, estándar de oro u otros sistemas. La comparación con otros sistemas sin embargo tiene unas condiciones muy particulares ya que este tipo de comparación debe cumplir una serie de requisitos como por ejemplo tener la misma base de conocimiento (para que los resultados sean completamente comparables), o que sea posible adaptar el proceso de evaluación de la base de conocimiento para que los resultados sean equiparables. Debido a eso se propone como modelo de evaluación la comparación de resultados que procedan de un sistema donde se captura el conocimiento de un solo experto, con los resultados que se generen de la investigación de la presente tesis doctoral tras haber aplicado el concepto de inteligencia colectiva.

Esta investigación utiliza dos de los criterios propuestos por Kaplan. El primero es contra un estándar de oro (resultados generados por ODDX), y el segundo es contra expertos, ya que el sistema seleccionado como estándar de oro ha sido evaluado por expertos tal como se define en (Rodríguez-González et al., 2013) en donde los autores establecen una comparación entre la retroalimentación de los expertos que han ayudado a resolver diferentes casos clínicos y el sistema experto que ha evaluado estos mismos casos clínicos. Una vez que se han obtenido los resultados, se lleva a cabo un proceso de arbitraje con la finalidad de asegurar que los datos obtenidos son los correctos. Una vez que el proceso se ha completado los resultados son analizados utilizando las métricas PRAS-M (Precision, Recall, Accuracy, Specificity y Matthews Correlation Coefficient (MCC)). Cuando esta metodología se ha aplicado, los resultados obtenidos de un sistema de diagnóstico real permiten establecer la precisión del sistema basado en hechos objetivos. Esta metodología genera suficiente información para analizar el comportamiento del sistema para cada una de las enfermedades en la base de conocimiento de forma individual o para toda la base de conocimiento completa. Este procedimiento facilita la evaluación de sistemas de diagnóstico médico al tener un proceso confiable basado en hechos objetivos.

En términos generales, el proceso comienza con la creación de un conjunto de veinte casos clínicos definidos por los investigadores con base en el contenido de la base de conocimiento, que as su vez ha sido poblada con conocimiento tomado de la literatura médica. Estos casos clínicos posteriormente son analizados y validados por un experto para verificar que estén escritos correctamente. Después de este proceso, los casos clínicos son asignados a los asesores, quienes devuelven un par de diagnósticos y tiempo. Cada caso clínico es asignado a un número mínimo de tres expertos. Esto es debido a que la opinión de un tercer experto podría servir como criterio de desempate en caso de que lo hubiera. A partir de ahí, cada caso clínico se asigna un número impar de

expertos. Una vez que los resultados de los expertos han sido obtenidos, los árbitros comienzan el proceso de arbitraje. Este proceso asegura la validez de los resultados proporcionados por los asesores y por el sistema. El proceso de arbitraje consiste en que los árbitros señalen con qué resultados de los expertos están de acuerdo y con cuáles no lo están. Una vez terminado el proceso de arbitraje se obtiene la unión y la intersección de las opiniones de los árbitros. La unión son aquellos resultados de los casos clínicos en donde al menos uno de los árbitros ha calificado como válido o correcto. La intersección son aquellos resultados de los casos clínicos en donde ambos árbitros han dicho estar de acuerdo. En este contexto, es importante recalcar que las opiniones y experiencia de los árbitros son usadas como una verificación constante contra las opiniones proporcionadas por los asesores.

La siguiente imagen muestra el procedimiento descrito anteriormente.

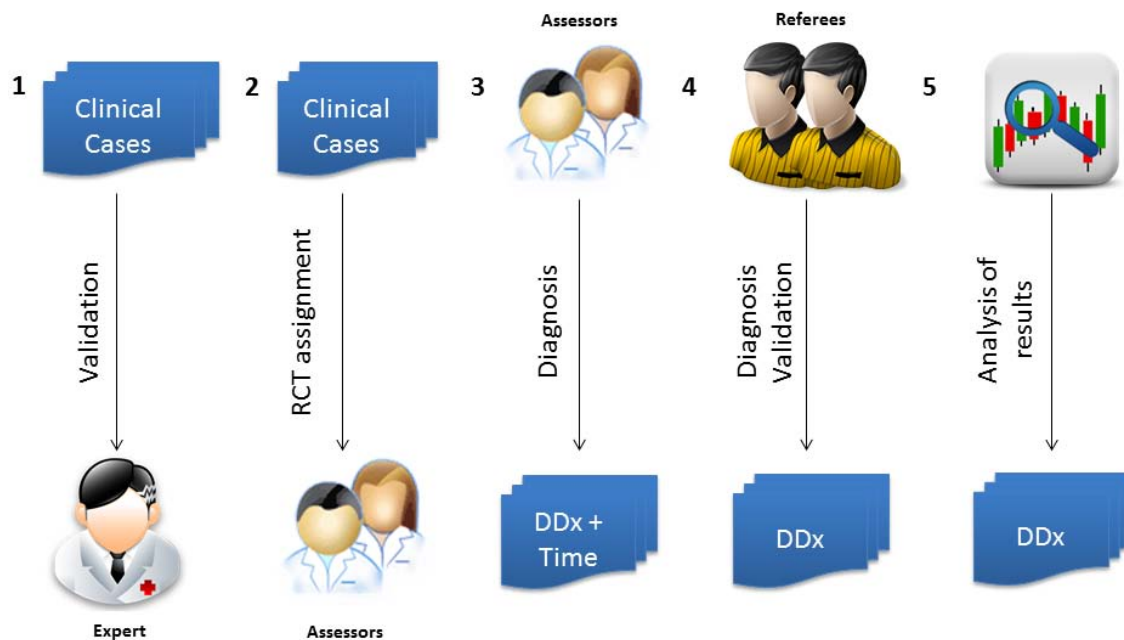


Figura. 5 Proceso de Evaluación del Estándar de Oro

La verificación de la hipótesis H1 se ha obtenido mediante la comparación del valor de las métricas ofrecidas por el estándar de oro contra el valor de las métricas obtenidas en esta investigación tras la aplicación de la IC y los métodos de consenso.

Se han realizado pruebas con las diferentes bases de conocimiento consensuadas para observar los cambios en los valores de exactitud que cada una de ellas ofrece y determinar si el número de indicios está relacionado con esta métrica, con lo que se busca la verificación de la hipótesis H2.

La verificación de la hipótesis H3 se ha llevado a cabo por medio de la comparación entre la cantidad de indicios con los que coinciden los expertos al utilizar una base de

conocimiento poblada con la cantidad de indicios con los que coinciden al utilizar una base de conocimiento no poblada.

5. SISTEMA GALENO.

En esta sección se presenta la arquitectura y el funcionamiento general del sistema Galeno. Este sistema se ha desarrollado a modo de herramienta para la obtención de datos que han servido para hacer el modelado de enfermedades en ambos experimentos. Mediante este sistema se les ha solicitado a los expertos que realicen los cambios en los indicios de cada enfermedad. Finalmente, estos cambios forman las bases de conocimiento de cada experto, las cuales han sido sometidas a los diferentes métodos de consenso.

5.1 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN.

Como se ha mencionado anteriormente, en ambos experimentos se ha solicitado a los expertos realizar el modelado de enfermedades de las bases de conocimiento proporcionadas. Para realizar este modelado y con esto lograr la obtención de datos se ha diseñado una aplicación a la que se le ha denominado Sistema Galeno, cuya arquitectura se explica a continuación.

La figura 4 muestra el diagrama de la arquitectura del Sistema Galeno.

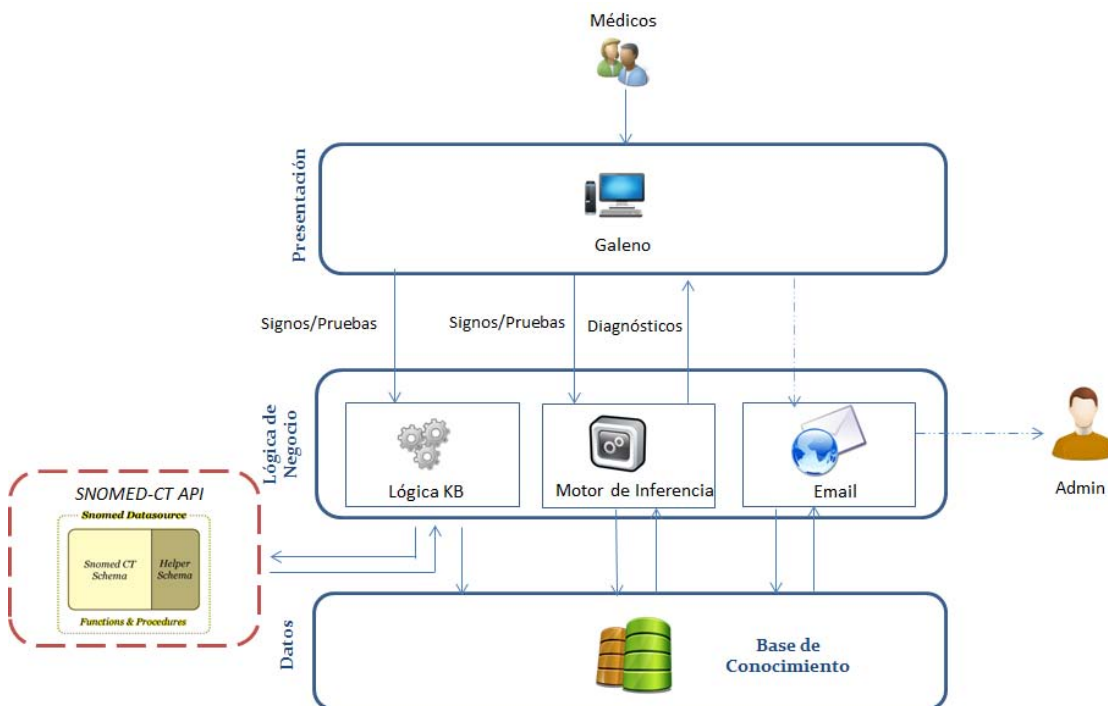


Figura. 6 Arquitectura del Sistema Galeno

Como se puede observar, el diagrama se corresponde con una arquitectura por capas en donde los usuarios principales del sistema son los médicos.

Es necesario mencionar que debido a que se han definido dos experimentos, cada uno con bases de conocimiento diferentes, ha sido también necesario reflejar esta división en el Sistema Galeno, por lo que se han desarrollado dos sistemas que respetan exactamente la misma arquitectura, y cuya única diferencia solamente radica en que para el experimento 1 el sistema muestra en la capa de presentación la lista de enfermedades correspondiente a la base de conocimiento no poblada, y para el experimento 2 el sistema muestra en la capa de presentación la lista de enfermedades correspondiente a la base de conocimientos poblada.

A continuación se explica el funcionamiento de cada una de las capas.

5.1.1 CAPA DE PRESENTACIÓN.

En la primera capa, la capa de presentación se encuentra la interfaz del sistema. Se trata de una aplicación de escritorio que le permite a cada uno de los médicos hacer el modelado de las enfermedades. Como se ha mencionado anteriormente, para ambos experimentos el modelado consiste en hacer modificaciones a una lista de enfermedades, de manera que en la capa de presentación la aplicación muestra a los médicos el listado de enfermedades que deben modelar junto con los elementos de interfaz de usuario para agregar o quitar signos/síntomas y pruebas diagnósticas de cada una de las enfermedades.

Igualmente es en esta capa en donde se le permite al usuario verificar que los cambios que ha realizado se han hecho efectivos. Para esto, los médicos pueden crear una lista de signos/síntomas y pruebas diagnósticas y solicitar al sistema la lista de diagnósticos diferenciales correspondientes.

Finalmente, en esta misma capa, el sistema permite al usuario enviar por correo electrónico la base de conocimiento con las modificaciones hechas tras el modelado.

5.1.2 CAPA DE LÓGICA DE NEGOCIO.

La capa de lógica de negocio está dividida en tres partes. Cada una corresponde a los tres módulos con los que cuenta el Sistema Galeno.

La primera parte, denominada Lógica KB, se encarga de todos los procesos relacionados con el modelado de las enfermedades que finalmente se traducen en modificaciones a la base de conocimientos de cada médico. Este módulo recibe de la capa de presentación para cada una de las enfermedades la lista de signos/síntomas y la

lista de pruebas diagnósticas que cada uno de los médicos ha determinado que corresponden a cada enfermedad. Al recibir esta lista hace las modificaciones pertinentes en la base de conocimiento. Cabe señalar que este proceso se realiza de forma individual para cada enfermedad, es decir, el médico hace el modelado de una enfermedad y guarda los cambios, y el proceso se repite para cada una de las enfermedades.

Se puede dar el caso de que el médico quisiera agregar signos/síntomas o pruebas diagnósticas que no se encuentren ya en la base de conocimientos. En ese caso el sistema da la opción de hacer una búsqueda en la terminología de SNOMED-CT para lo cual hace uso de una API de la propia terminología de SNOMED-CT a la cual, a través del sistema, el médico envía palabras clave que se utilizan como criterio de búsqueda, y recibirá como respuesta una lista con las opciones que el médico puede utilizar. En el caso de que no se reciban resultados, o estos no concuerden con lo que el médico buscaba, existe la opción de añadir el indicio de forma manual, asignándosele un código concreto que refleja esta situación.

El motor de inferencia se encarga de recibir de la capa de presentación un conjunto de signos/síntomas y de pruebas diagnósticas que el usuario haya introducido al sistema y realizar una consulta a la base de conocimientos para finalmente generar una el diagnóstico diferencial que se mostrará de nuevo en la capa de presentación. Con esto, los médicos pueden comprobar que los cambios que han hecho a su base de conocimiento generan los resultados (diagnósticos diferenciales) esperados y correctos.

Por último, la capa de Lógica de negocio tiene un módulo para enviar por correo electrónico la base de conocimiento tras haber terminado el modelado correspondiente a cada uno de los experimentos. Este módulo se encarga de comprimir en un fichero zip la base de conocimiento junto con los demás ficheros necesarios para el funcionamiento del sistema Galeno y enviarlos por correo electrónico a la cuenta de correo del administrador.

5.1.3 CAPA DE DATOS.

En la capa de datos se encuentra la base de conocimiento que se ve afectada por los tres módulos correspondientes a la capa de Lógica de Negocio.

El módulo de Lógica KB afecta a la Base de Conocimiento por medio de los cambios solicitados en los signos/síntomas y pruebas diagnósticas asociados a cada enfermedad al hacer el modelado.

El módulo de motor de inferencia hace consultas a la base de conocimiento para que esta le devuelva como respuesta el diagnóstico diferencial relacionado con los signos/síntomas y pruebas diagnósticas recibidas en la consulta.

El módulo de Email se encarga de comprimir la base de conocimiento en un fichero zip y enviarlo por correo electrónico a la cuenta del administrador.

5.2 REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO.

El cuidado de la salud juega un papel muy importante en el campo de la Web semántica dada la posibilidad de representación del conocimiento que la Web semántica es capaz de resolver. Sin embargo, en algunos casos, la definición y población de ontologías no es suficiente para ser utilizada en dominios concretos.

En este apartado se muestra el diseño de un conjunto de ontologías para ser utilizadas de forma directa en DDSS (Diagnostic Decision Support Systems). Este conjunto de ontologías fue diseñado por medio de una arquitectura modular en donde la ontología principal o raíz es creada para definir las relaciones principales que se pueden encontrar en el dominio antes mencionado. También se diseñó un conjunto de ontologías subordinadas de la ontología principal tratando de que estas sean lo más ligeras posible.

La ontología para esta investigación fue diseñada pensando en ser utilizada en la obtención de diagnósticos médicos diferenciales por medio de la definición de conceptos concretos y relaciones que generalmente forman parte en la generación u obtención de este tipo de diagnósticos.

La solución propuesta está basada en la definición de una nueva ontología médica para el dominio de los diagnósticos. Actualmente las ontologías del dominio médico o biomédico no siempre están preparadas para ser reutilizadas en otros dominios o campos dados su complejidad y tamaño entre otros factores.

El mayor problema relacionado con estas ontologías tiene que ver por una parte con su tamaño. En el dominio de diagnósticos médicos diferenciales es necesario que sean lo más ligeras posible para tener un buen desempeño en las diferentes partes del proceso de razonamiento. Por otra parte, otro de los factores es su complejidad ya que existen muchos tipos de descripción lógica asociados a este tipo de ontologías que no se encuentran necesariamente en el proceso de diagnóstico, y por último una carencia de relaciones adecuadas para definir las relaciones entre los elementos involucrados en el proceso de diagnósticos diferenciales.

Fundamentalmente uno de los principales problemas relacionado con estas ontologías son las terminologías que utilizan para la representación del conocimiento. Algunas de ellas utilizan sus propios códigos lo cual no permite la interoperabilidad entre sistemas que no utilicen estos códigos.

Dado los problemas anteriormente mencionados, la solución que se ha propuesto está basada en la reutilización de una estructura ontológica (conjunto de ontologías) que se han poblado utilizando la terminología SNOMED-CT.

La idea fue asociar un código de SNOMED-CT con cada uno de los conceptos en las ontologías que forman parte de esta estructura ontológica. Esta solución hace que la ontología sea lo más eficiente posible para el razonamiento e inferencia de posibles enfermedades en el diagnóstico diferencial. Esta ontología contiene solamente las relaciones, un código de identificación en formato SNOMED-CT y el nombre de cada concepto en inglés.

Se ha decidido utilizar esta ontología por dos razones principales. La primera es que se requiere esta reutilización para poder hacer comparaciones posteriores bajo los mismos criterios. La segunda razón es que, a pesar de que en trabajos como los de (Corcho, Fernández-López & Gómez-Pérez, 2003) y (Pinto, Gómez-Pérez & Martins, 1999) se habla sobre las metodologías para la integración de ontologías, en este caso, no es posible aplicar las técnicas sugeridas para conjuntar las ontologías existentes, por ejemplo Human Disease o Disease Ontology de OBO Foundry. Esto es porque aun teniendo los datos necesarios en estas ontologías es necesario crear una ontología raíz en donde se tienen que definir las relaciones que hacen uso de los conceptos que se encuentran en las ontologías subordinadas. Otra de las razones es que el uso de las tecnologías para fusionar ontologías no implica una reducción de las instancias que no son necesarias. El diseño de esta ontología está basado en el principio de mantenerlo lo más pequeño y ligero como sea posible.

El diseño de esta ontología resuelve algunos problemas que se enlistan a continuación.

- Interoperabilidad entre estándares: Cuando se utiliza un código estándar la aplicación puede ser interoperable y en el futuro puede intercambiar datos con otras aplicaciones.
- Mapeo entre ontologías: Se logra el mapeo entre las principales terminologías con el objetivo de que si se necesita información adicional que se encuentre disponible en otra ontología esta pueda ser consultada a través del mapeo.
- Multi-interoperabilidad: Llevando a cabo el mapeo entre los códigos de SNOMED-CT y otros códigos como el ICD⁴¹, Mesh (Lipscomb, 2000), GALEN (Rector et al., 2003), OBO (Smith et al., 2007) y otros, también se permite la interoperabilidad para expandir a más sistemas aun cuando no soporten SNOMED-CT.

⁴¹ <http://www.who.int/classifications/icd/en/>

- Reusabilidad y escalabilidad: La modularidad de los sistemas permite la reutilización de las ontologías propuestas en otros dominios o sistemas. Además, el esquema propuesto también ayuda al desarrollo de aplicaciones escalables al dividir el proceso de diagnóstico en varias ontologías que podrían ser utilizadas para procesos de inferencia de forma separada.

La estructura ontológica que se ha decidido reutilizar se describe a continuación:

Teniendo como principal referencia SNOMED-CT tanto para utilizar sus códigos para garantizar la interoperabilidad como para tomar como directrices las principales características que se encuentran en su jerárquica, se ha analizado su estructura con el objetivo de identificar los principales elementos existentes en la terminología. Dado que se utiliza SNOMED-CT para poblar el conjunto de ontologías se ha hecho especial énfasis en la sección “Clinical Finding”, ya que los conceptos en esta jerarquía representan el resultado de observaciones clínicas, valoración o juicio, e incluyen estados clínicos normales y anormales.

La jerarquía de “Clinical Finding” contiene la subjerarquía “Disease”. Los conceptos que son descendientes de “Disease” o “Disorder” siempre son necesariamente estados clínicos anormales.

Los signos/síntomas clínicos representan el aspecto más importante ya que son estos elementos los que en mayor medida permiten encontrar un diagnóstico específico basado en la presencia o ausencia de ciertos indicadores. Los elementos de tipo disorder pueden ser a su vez tomados en cuenta como signos al momento de hacer el modelado de las enfermedades ya que el sistema que se utiliza como estándar de oro para la comparación está diseñado para utilizar multinivel. Esto quiere decir que una enfermedad puede ser definida o modelada a partir de otra enfermedad junto con signos añadidos.

Se ha tomado la decisión de utilizar en la medida de lo posible el término “signo” para este estudio, ya que a diferencia de los “síntomas”, un signo es la percepción objetiva de un médico para obtener un diagnóstico.

Las pruebas diagnósticas son indicadores clínicos que también forman parte del proceso de obtención de diagnósticos diferenciales. Las pruebas diagnósticas permiten a los médicos confirmar un diagnóstico a través de los resultados reportados, es por eso que se han tomado en cuenta como un tipo de indicador clínico.

La ontología DDxOnt representa la ontología general que incluye al resto de las ontologías que tienen que ser representadas. El nombre DDxOnt hace referencia a Diagnosis Ontology (DDx es el acrónimo de Diagnosis). La ontología está compuesta de cinco subontologías representadas en una estructura modular, con lo que se permite que las subontologías representen en sí mismas una entidad cada una y puedan ser

utilizadas para diferentes propósitos, además de que permiten una futura interoperabilidad.

La figura 5 muestra el diagrama de la ontología completa. El diagrama muestra seis diferentes ontologías que representan los seis dominios relacionados con el proceso de obtención de diagnóstico diferencial. Cada una de las subontologías se explica a continuación.

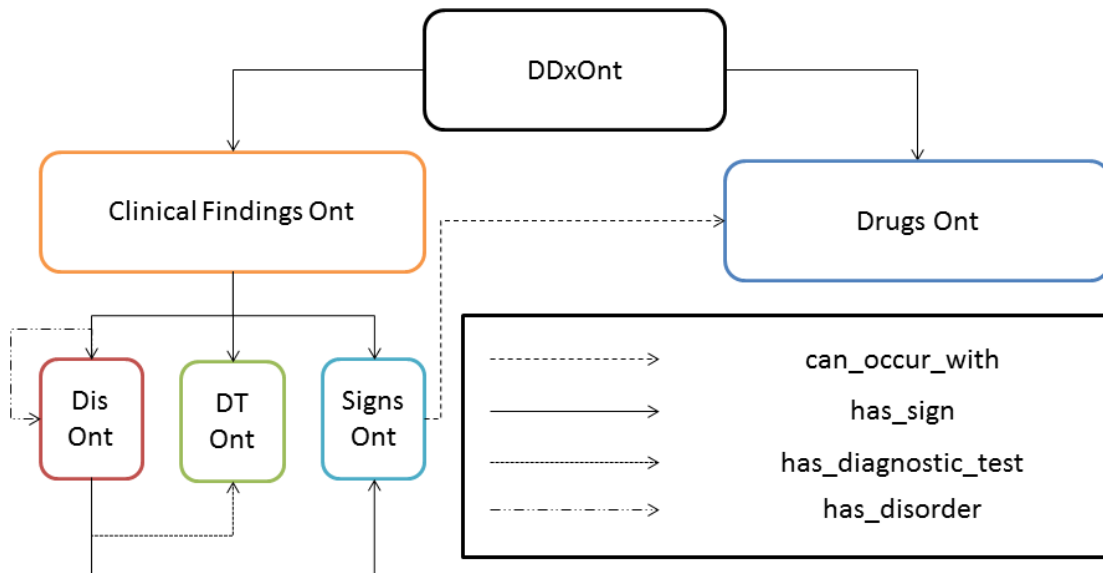


Figura. 7 Diagrama de la ontología DDXOnt

- La ontología “Clinical Findings Ontology” (CFO), que se muestra en la figura 6, es el conjunto de tres ontologías que, una vez más, cada una de ellas representa una entidad en concreto. El objetivo de esta ontología es crear un conjunto que haga referencia a lo que son considerados los tres elementos principales en el proceso de obtención del diagnóstico diferencial de una enfermedad.

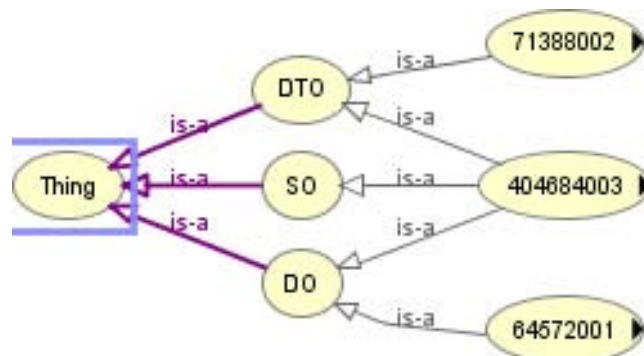


Figura. 8 Representación de Clinical Findings Ontology

- La ontología Signs Ontology (SO) intenta almacenar todas aquellas manifestaciones que pueden ser asignadas a una enfermedad o cambio en el estado de salud. Además de contener todo este tipo de manifestaciones también hace referencia a manifestaciones subjetivas que se pueden volver objetivas a través del análisis que un médico realice al paciente (por ejemplo, la fiebre, una vez que el médico la ha medido y ha confirmado que realmente es fiebre) o siguen siendo manifestaciones subjetivas del paciente, es decir, síntomas, por ejemplo, dolor, malestar, etc.
- La ontología Diagnostic Test Ontology (DTO) almacena todas aquellas pruebas diagnósticas que pueden ser utilizadas para confirmar o negar un cierto diagnóstico. El diseño de esta ontología está basado en la generación de una estructura con una clase raíz llamada DTO en donde se establecen directamente las relaciones necesarias. La creación de esta clase principal, como en el caso de signs ontology, tiene el objetivo de establecer una jerarquía que permita la visualización y modificación de la misma sin dificultades con editores de ontologías, y tener una estructura ordenada y fácil de visualizar. Una vez más, las subclases dependientes siguen una cierta jerarquía basada en códigos estándares, en donde la instancia es el último nodo en la jerarquía y representan pruebas concretas.
- La Disease Ontology (DO) almacena las enfermedades en la base de conocimiento para el proceso de diagnóstico. De la misma manera que las dos ontologías anteriores, el diseño para la construcción de esta ontología está basado en la generación de una estructura con una clase raíz llamada DO en donde las relaciones necesarias están directamente establecidas. La creación de esta clase principal tiene como objetivo fundamental establecer una jerarquía que permita la visualización de la misma sin dificultades y tener una estructura ordenada y fácil de visualizar. De nuevo, las subclases dependientes siguen una cierta jerarquía basada en códigos estándar que hacen referencia al nombre de la clase o tipo de enfermedad que representan. La instancia es el último nodo en la jerarquía y representa una enfermedad en concreto.
- La Drugs Ontology (DRO) es una ontología cuyo objetivo es almacenar todos los medicamentos que pueden ser tomados como resultado del tratamiento de una cierta enfermedad. Estos elementos son utilizados para la obtención de otras combinaciones de diagnósticos tomando en cuenta que cierto medicamento puede dar origen a una serie de signos o síntomas como parte de sus efectos secundarios. Al igual que el resto de las ontologías, el diseño de DRO está basado en la generación de una estructura con una clase raíz llamada DRO en donde las relaciones necesarias están directamente establecidas, la creación de una clase principal busca establecer una jerarquía que permita la visualización y

modificación de la misma sin dificultades y tener una estructura ordenada y fácil de visualizar.

5.2.1 RELACIONES ENTRE LAS ONTOLOGÍAS.

Además de la jerarquía utilizada y las clases que se han descrito, las relaciones que afectan a los elementos de la misma deben ser establecidas para proporcionar las capacidades de razonamiento y búsqueda que la ontología principal debe tener. Las relaciones establecidas entre las ontologías tienen el objetivo de establecer la relación entre los diferentes elementos de las ontologías. Estas relaciones fueron creadas con base en la convención de nombres establecida por OBO-Foundry (Smith et al., 2007).

La clase QUERY es una clase para generar instancias de consultas. La idea es que cuando se haga una consulta al sistema esta consulta tenga un formato de instancia y esta instancia pertenezca a alguna clase.

La tabla 1 muestra todas las relaciones establecidas, su dominio y rango.

Relación	Dominio	Rango
has_sign	disont:DO ddxont: QUERY	signs:SO
has_disorder	disont:DO ddxont: QUERY	disont:DO
is_patognomic	signs:SO dto: DO	disont:DO
has_diagnostic_test	disont:DO ddxont: QUERY	dto:DTO
can_ocurr_with	signs:SO	dront:DRO

Tabla 1. Dominio y Rango de las relaciones entre ontologías

A continuación se muestra un detalle de las relaciones.

- has_sign: la relación has_sign relaciona las entidades de enfermedades (representadas en la clase disont:DO) con las entidades de signos (representadas en la clase signs:SO). Como se ha establecido previamente, se propone que la representación básica de la entidad enfermedad consista en la información de diversos elementos adicionales, entre ellos signos o síntomas. De esa forma se establece que el dominio que afecta a las relaciones de esta clase contenga a las enfermedades y el rango de la clase contenga a los signos.
- has_disorder: la relación has_disorder establece la relación entre las entidades enfermedad. El objetivo es modelar el hecho de que ciertas enfermedades

pueden estas compuestas de otras, es decir, pueden tener a otra enfermedad actuando como síntoma.

- `is_patognomic`: esta relación permite establecer relaciones entre signos o pruebas diagnósticas y una enfermedad, generando la situación en la cual el diagnóstico de una enfermedad pueda tener una probabilidad del 100% de éxito debido a que las entradas consideradas patognómicas (signos o pruebas diagnósticas con un cierto resultado) puedan confirmar totalmente un cierto diagnóstico.
- `has_diagnostic_test`: permite establecer relaciones entre aquellas entidades que representan pruebas diagnósticas y las enfermedades. Esta relación implica el resultado de ciertas pruebas diagnósticas (generalmente lo ideal es establecer la relación entre una enfermedad y el resultado concreto de una prueba, no solo con la elaboración de la prueba), y permite obtener ciertos diagnósticos.
- `can_ocurr_with`: permite establecer relaciones entre entidades que representan signos y entidades que representan fármacos. Es decir, permite determinar si un fármaco puede originar algún tipo de efecto secundario y puede actuar consecuentemente para generar nuevas opciones de diagnóstico.

5.3 PLATAFORMA.

A continuación se da una descripción del funcionamiento del Sistema Galeno, plataforma que se utilizó para la obtención de datos por medio del modelado de enfermedades y la construcción de las bases de conocimiento individuales.

En la figura 7 se muestra la ventana que se muestra al iniciar el sistema.

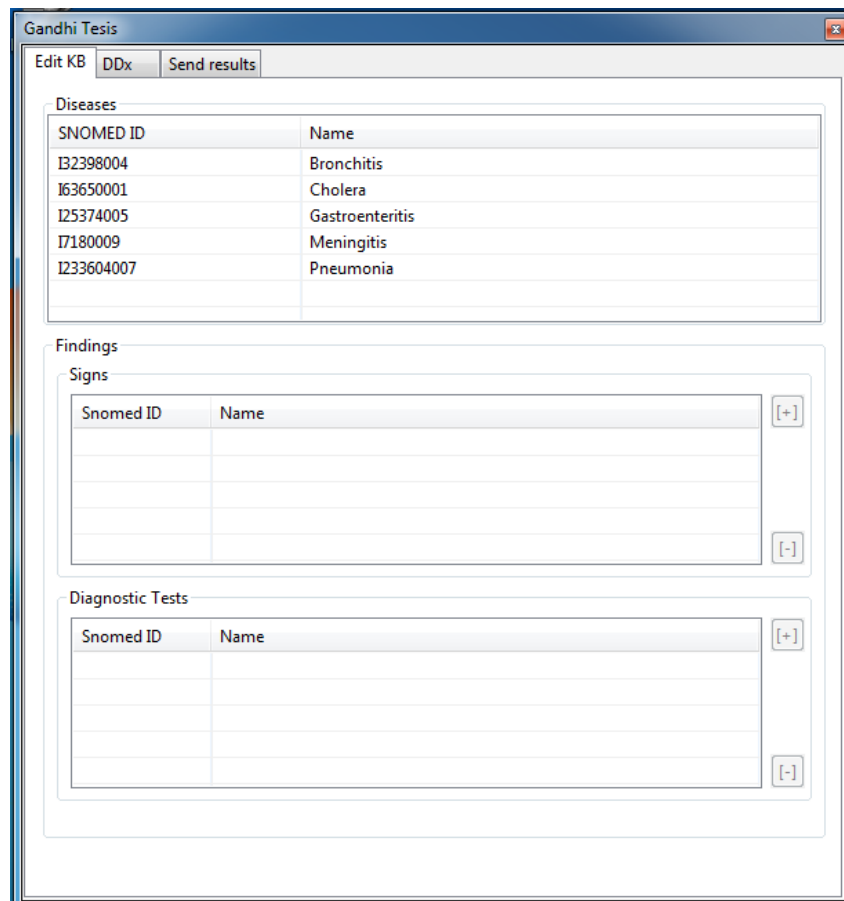


Figura. 9 Sistema Galeno. Ventana para la edición de la base de conocimiento

En esta ventana los médicos pueden ver tres listas. La primera corresponde a la lista de las enfermedades. Como se mencionó anteriormente, para el primer experimento se han escogido cinco enfermedades.

La segunda lista corresponde a los signos de cada una de las enfermedades. La tercera lista muestra las pruebas diagnósticas asociadas a cada enfermedad.

Para ambos casos, tanto para la lista de signos como para la de pruebas diagnósticas, a un lado de cada lista la aplicación muestra dos botones. El botón [+] permite agregar un nuevo signo/síntoma o prueba diagnóstica a la lista correspondiente y el botón de [-] elimina el signo/síntoma o prueba diagnóstica seleccionado.

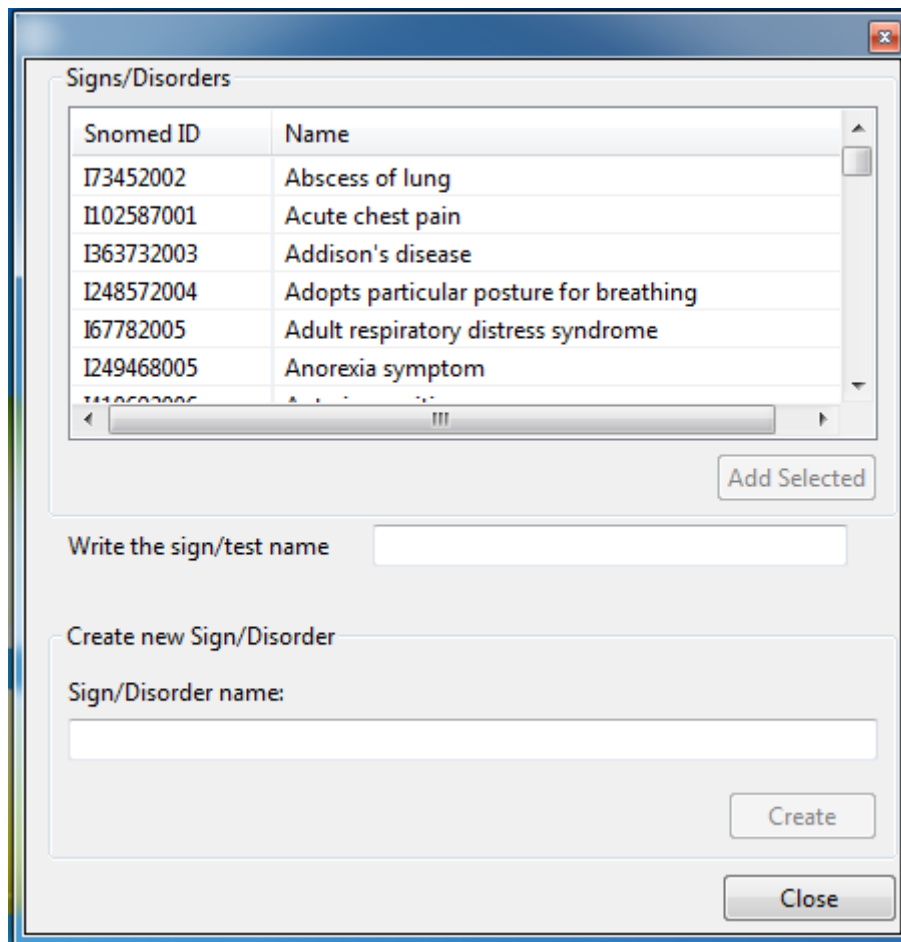


Figura. 10 Sistema Galeno. Ventana para agregar nuevos signos

Al pulsar sobre el botón [+] a un lado de la lista de signos/síntomas se muestra la ventana que se ve en la figura 8. En esta ventana los médicos pueden seleccionar de la lista signs/disorders el elemento que corresponda a un signo/síntoma que deseen agregar como parte la enfermedad que hayan seleccionado previamente. La lista de signs/disorders se encuentra ordenada alfabéticamente pero dado que esta lista es bastante larga se ha puesto una caja de texto en donde los médicos escriben una palabra que el sistema utilizará como criterio de búsqueda y entonces reducirá la lista de signs/disorders solamente a aquellos términos que coincidan con el criterio de búsqueda. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 9.

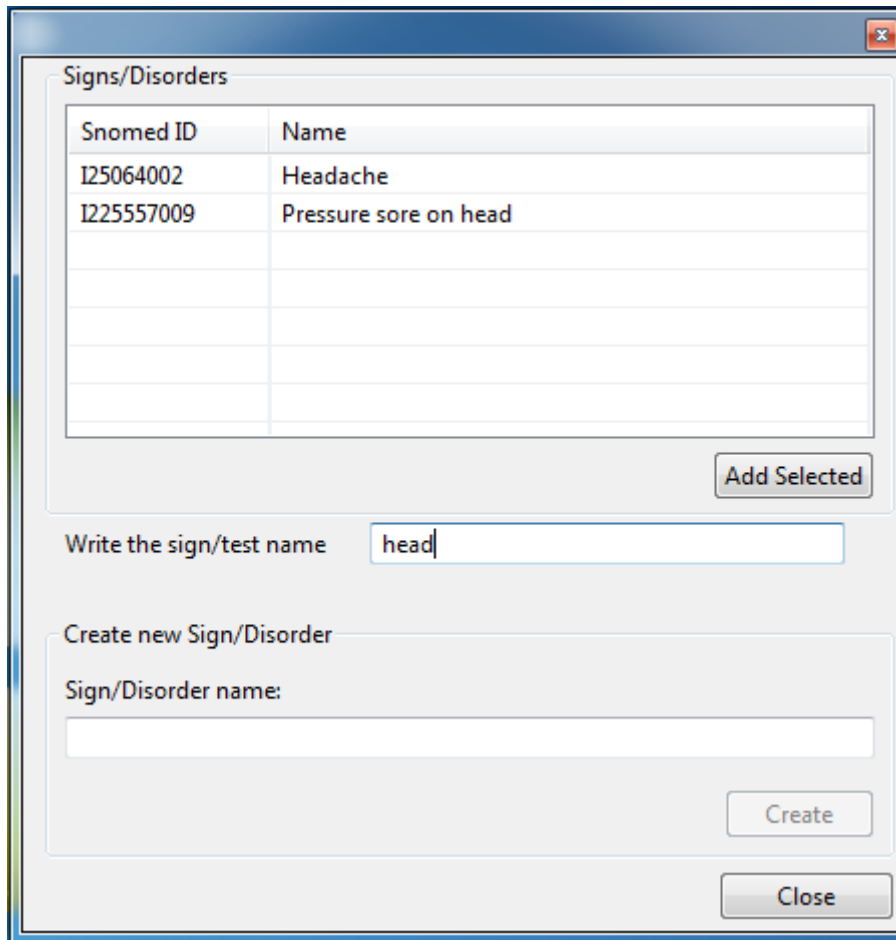


Figura. 11 Sistema Galeno. Filtrado de signos

En la figura anterior se muestra como utiliza el sistema Galeno la palabra head como criterio de búsqueda y reduce la lista de signs/disorders a aquellos que contienen esa palabra. De este modo la selección de elementos de esta lista se facilita a los médicos.

Una vez que el médico haya encontrado el sign/disorder que quiera agregar a la lista de signos/síntomas de una enfermedad deberá pulsar sobre el botón “Add Selected” y con esto el elemento seleccionado se relaciona con la enfermedad que se esté modelando. Por ejemplo, si en la ventana anterior se selecciona el elemento “Headache”, al pulsar sobre el botón “Add Selected” la lista de signos/síntomas de la Bronchitis se modifica teniendo ahora “Headache” como nuevo signo. Esto se muestra en la figura 10.

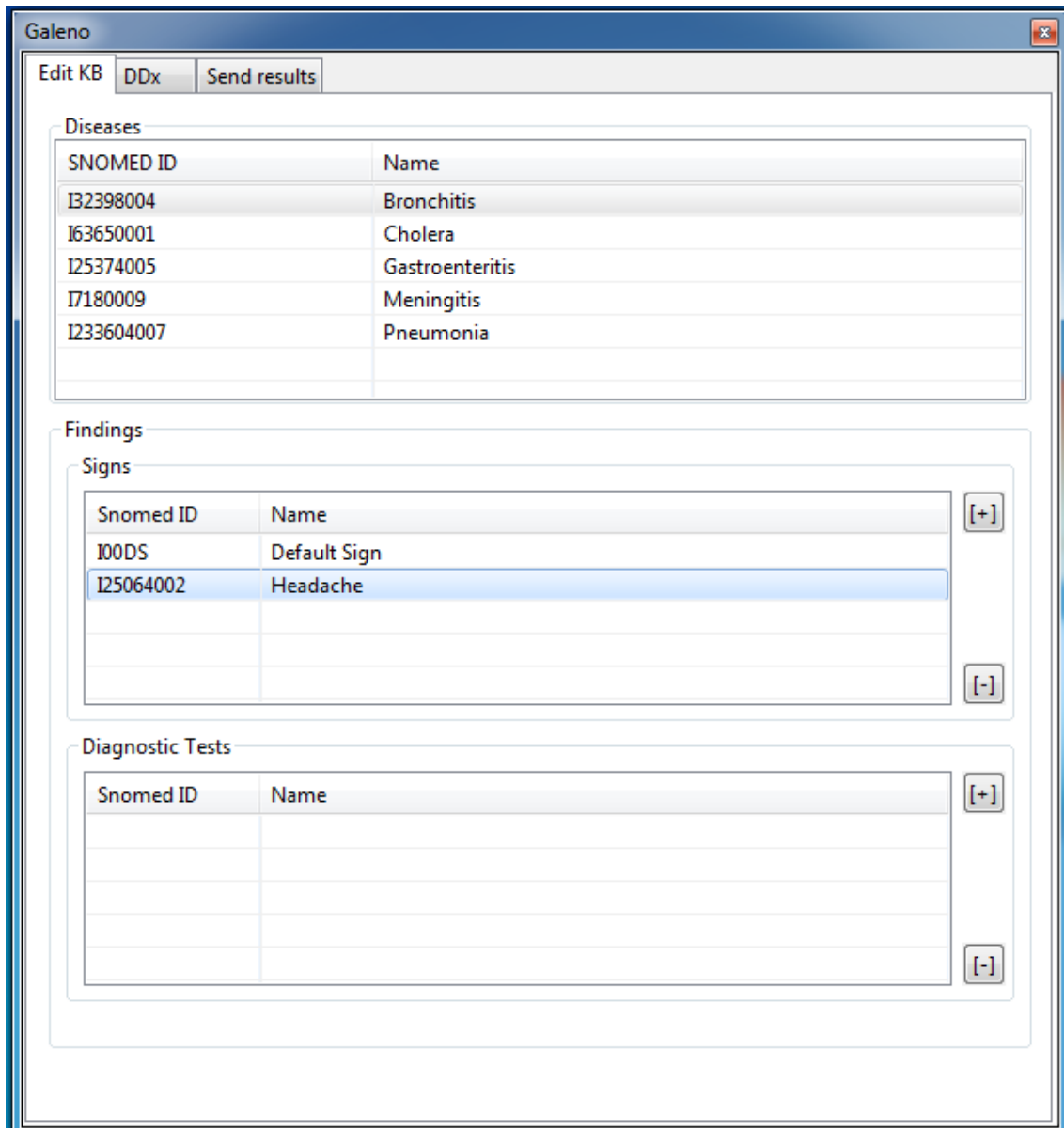


Figura. 12 Sistema Galeno. Nuevo signo agregado.

Una segunda forma de agregar signos/síntomas a las enfermedades es la siguiente. En caso de que el médico no encuentre en la lista de signs/disorders el elemento que quiera agregar entonces el sistema le da la opción de hacer una búsqueda en SNOMED-CT. Para esto el médico tendrá que escribir en el cuadro de texto Sign/Disorder name el nombre del nuevo signo que quiera agregar y pulsar sobre el botón “Create”. En ese momento el sistema utiliza el término escrito como criterio de búsqueda y utiliza la API de SNOMED-CT para generar una lista de términos relacionados. Esta lista de términos relacionados se muestra en otra ventana. Por ejemplo, si se utiliza como criterio de búsqueda el término “respiratory distress” entonces se genera una lista como la que se ve en la figura 11.

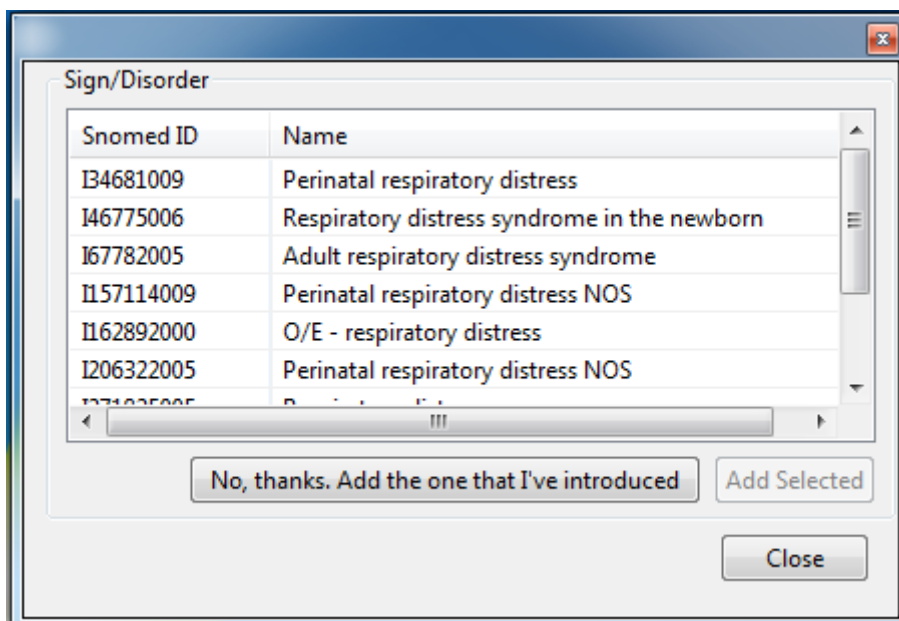


Figura. 13 Sistema Galeno. Lista de términos generados por SNOMED-CT

En la ventana anterior el médico tiene dos opciones. La primera es seleccionar un término de la lista y pulsar sobre el botón “Add Selected” y la segunda es pulsar sobre el botón “No, thanks. Add the one that I’ve introduced”. En ambos casos se agregará un nuevo signo/síntoma a la lista de signos/síntomas de la enfermedad que se esté modelando. La diferencia es que en el primer caso se agregará un signo/síntoma propuesto por SNOMED-CT y en el segundo caso se agregará tal y como la ha escrito el médico y se le asignará un ID que refleje este hecho.

Para el caso de las pruebas diagnósticas el sistema funciona de la misma manera. Con el botón [+] el sistema permite a los médicos agregar nuevas pruebas diagnósticas a la lista y relacionarlas con la enfermedad que se esté modelando. Al pulsar sobre el botón [+] aun lado de la lista “Diagnostic Test” aparecerá la ventana que se muestra en la figura 12 con un listado de todas las pruebas diagnósticas que se encuentran en la base de conocimientos original.

Cabe señalar que, aunque el sistema funciona de manera similar para agregar signos/síntomas y para agregar pruebas diagnósticas, en cada caso la lista que se muestra es diferente, ya que para el caso de agregar nuevos signos la lista mostrará solamente signos y para el caso de las pruebas diagnósticas la lista mostrará únicamente pruebas diagnósticas, es decir, en ningún momento signos/síntomas y pruebas diagnósticas se mezclan en una misma lista.

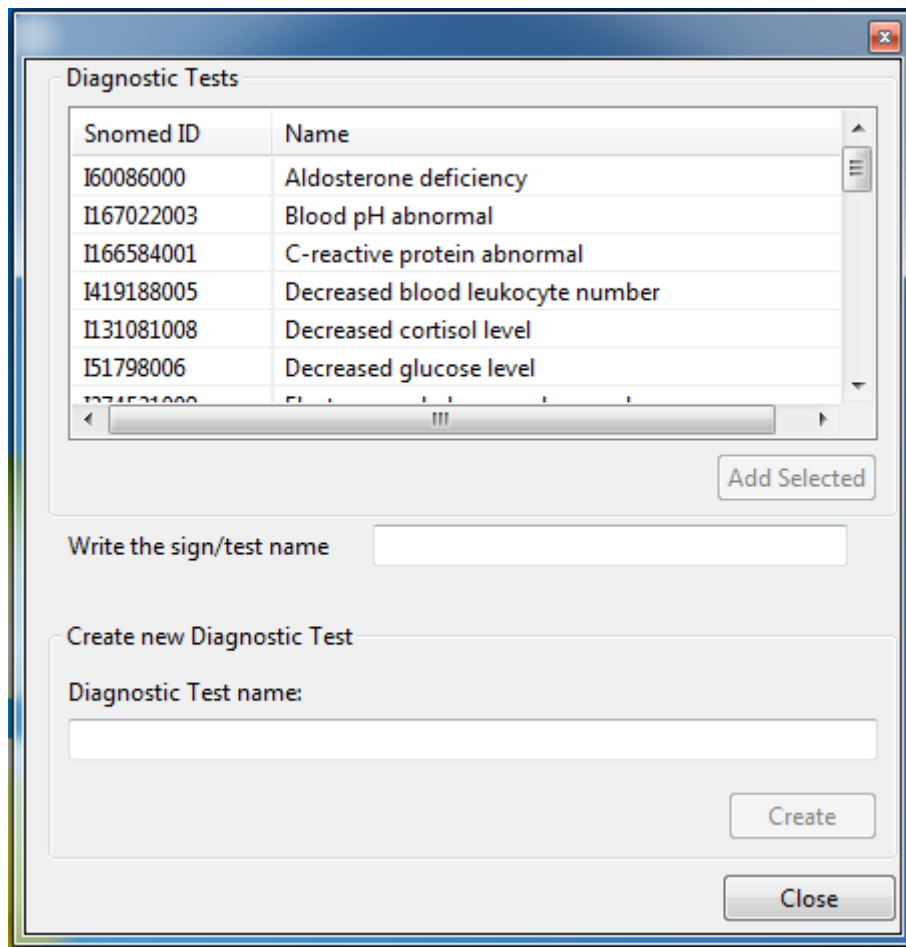


Figura. 14 Sistema Galeno. Ventana para agregar nuevas pruebas diagnósticas

Al igual que con los signos/síntomas en esta ventana se puede hacer un filtrado para reducir la lista y también se pueden agregar pruebas diagnósticas que no se encuentren en la lista original haciendo una búsqueda en SNOMED-CT.

Al seleccionar la siguiente enfermedad a modelar el sistema permite al médico guardar los cambios realizados.

El sistema presenta tres pestañas, la primera pestaña corresponde a la edición de la base de conocimiento y ya se ha explicado anteriormente. La segunda pestaña corresponde a la obtención de diagnósticos (DDx). En esta pestaña DDx se muestra primero una de signos/síntomas, debajo una lista de pruebas diagnósticas y por último una lista de enfermedades.

En esta parte del Sistema Galeno el médico utiliza nuevamente los botones [+] y [-] para agregar o eliminar elementos de las listas de signos/síntomas y de pruebas diagnósticas. Después de haber agregado elementos a dichas listas, al pulsar el botón “Get results” el contenido de estas listas se envía al motor de inferencia quien a su vez hace la búsqueda en la base de conocimiento para, finalmente, mostrar en la lista de enfermedades los

diagnósticos diferenciales que se generen como respuesta. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 13.

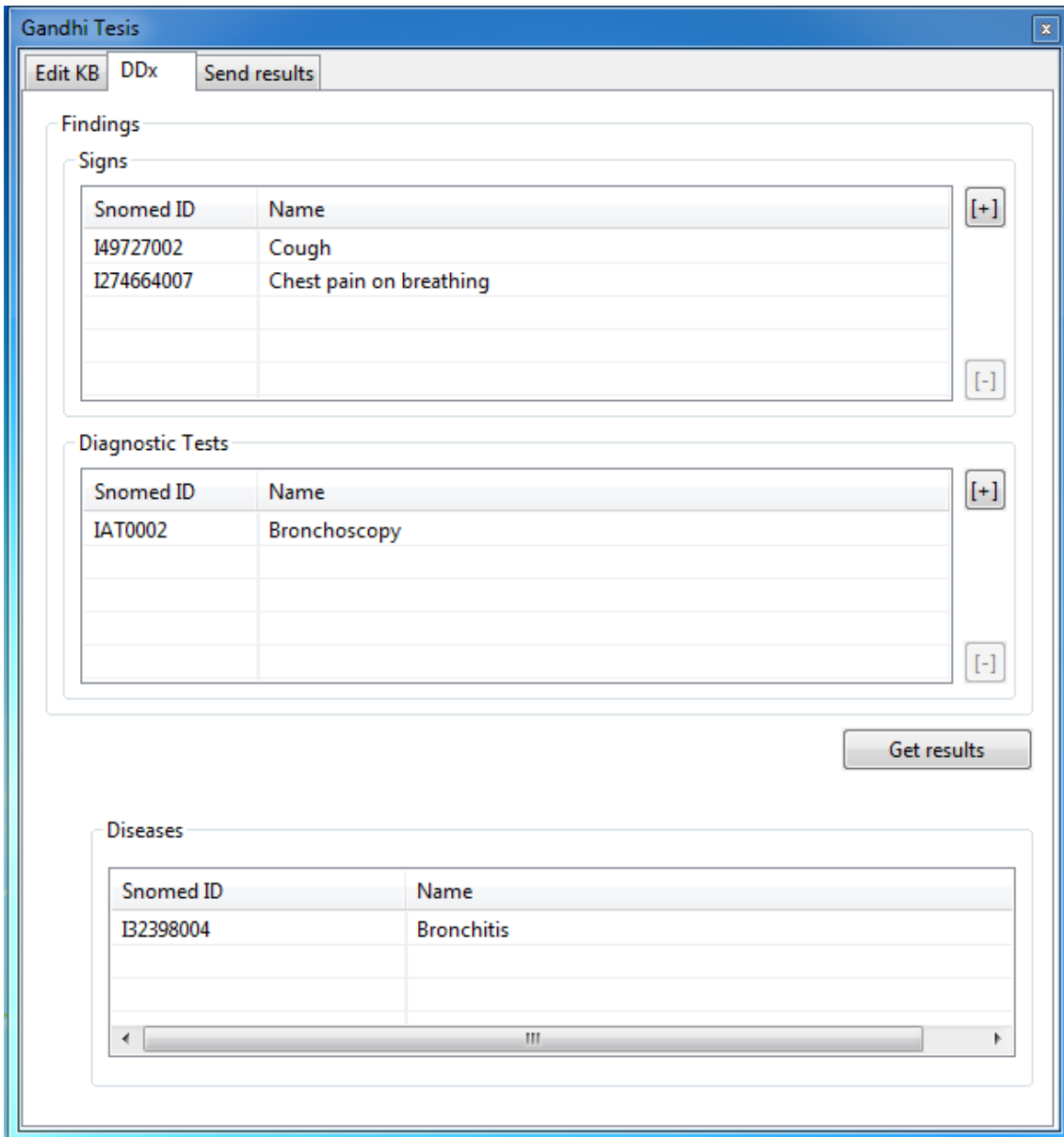


Figura. 15 Sistema Galeno. Ventana para la obtención de diagnósticos diferenciales

La última pestaña es la de "Send results". Esta parte del sistema se encarga de hacer el envío de las bases de conocimiento después de que los médicos hayan terminado de hacer el modelado. Aquí se les solicita a los médicos que escriban su nombre, una cuenta de correo y sus comentarios. Finalmente, el botón "send" comprime las bases de conocimiento en un fichero .zip y los envía a la cuenta de correo del administrador. Esta pestaña se muestra en la figura 14.

The image shows a software window titled "Gandhi Tesis" with three tabs: "Edit KB", "DDx", and "Send results". The "Send results" tab is active. The window contains the following elements:

- A heading "Send results" followed by the instruction: "Once you have finished the edition of the knowledge base based on the instructions provided, please, send the results."
- A section titled "Introduce your information:" containing two text input fields:
 - "Name" with the value "Fernando Robles"
 - "Email" with the value "f.robles@hotmail.es"
- A section titled "Comments" with a large text area containing the text: "Muchas gracias por la invitación a tu experimento. He marcado pocas pruebas diagnósticas debido a que el diagnóstico está basado principalmente en síntomas que luego el médico confirma con la exploración."
- A "Send" button located at the bottom right of the form area.

Figura. 16 Sistema Galeno. Ventana de envío de resultados

Como ya se ha mencionado, existen dos versiones del Sistema Galeno, una para cada experimento. Dado que en el segundo experimento se trabajó con bases de datos pobladas, la versión del Sistema Galeno correspondiente a este experimento muestra en la lista de signos/síntomas y en la lista de pruebas diagnósticas los elementos que estén relacionados con cada enfermedad. También es necesario recalcar que dado que los elementos principales que los médicos utilizan para obtener diagnósticos diferenciales son los signos/síntomas y no tanto las pruebas diagnósticas, para este segundo experimento se tomaron en cuenta enfermedades que no tuvieran pruebas diagnósticas asociadas o tuvieran muy pocas. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 15.

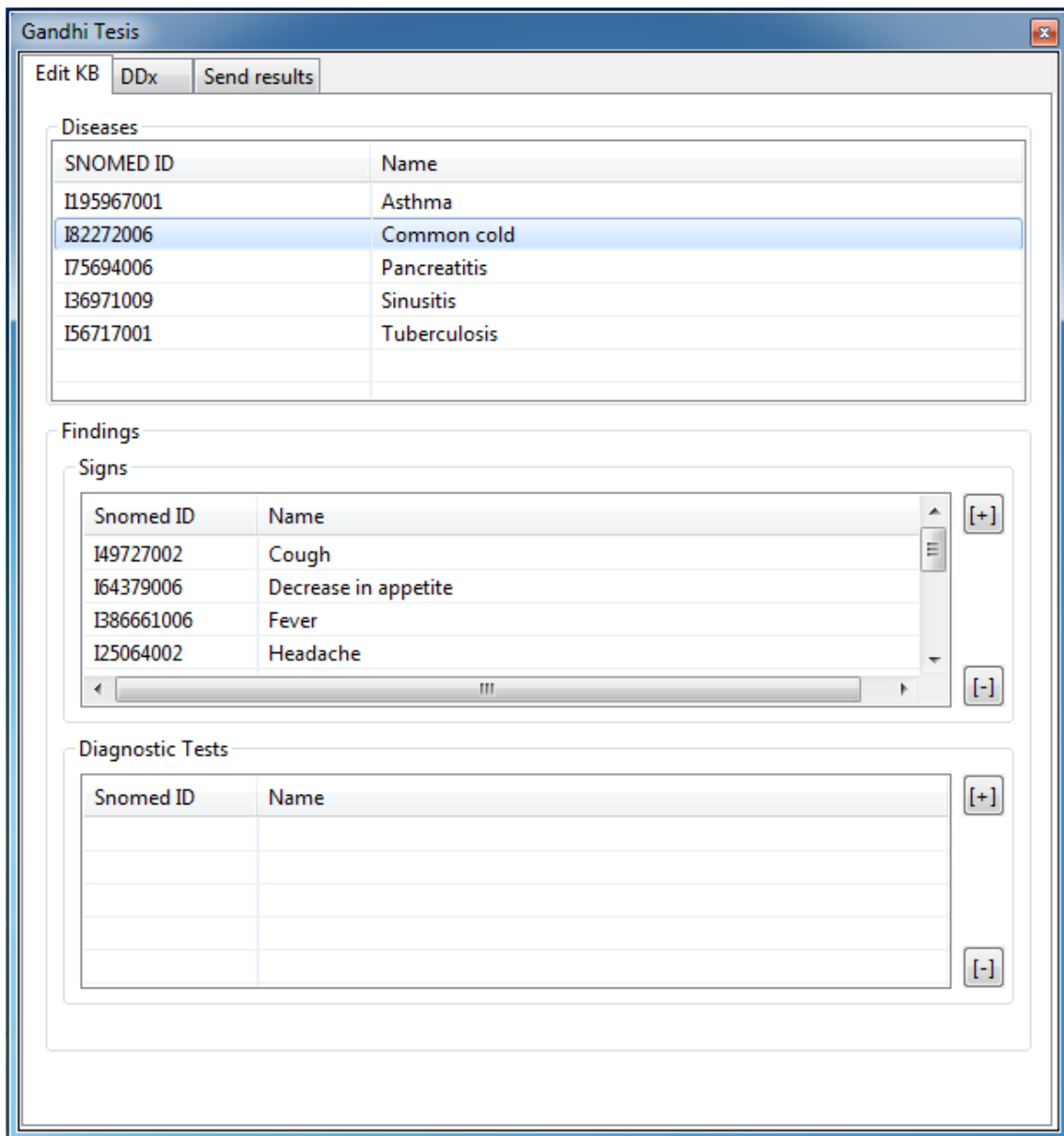


Figura. 17 Sistema Galeno con base de conocimiento poblada

Esta es la única diferencia con respecto al comportamiento del Sistema Galeno con respecto a la versión utilizada para el primer experimento con bases de conocimiento no pobladas. El resto del sistema tiene el mismo comportamiento en ambos casos.

5.4 TOMA DE DECISIONES MEDIANTE INFERENCIA.

Como se ha definido en la arquitectura, uno de los componentes principales que se encuentra en la capa de lógica de negocio es el motor de inferencia. El motor de inferencia es el encargado de recibir consultas por parte de los usuarios médicos y devolver como resultado una lista de diagnósticos diferenciales. Estas consultas están definidas por un conjunto de signos/síntomas y pruebas diagnósticas. El módulo de inferencia del Sistema Galeno está compuesto entonces de un motor de inferencia que, a

su vez, hace uso de dos componentes: 1) la base de conocimiento, que contiene la información sobre la definición o modelado de las enfermedades, y 2) un conjunto de reglas de inferencia. Al recibir una consulta, el motor de inferencia utiliza la API de Jena⁴² para consultar los dos componentes anteriores y con estos generar diagnósticos diferenciales.

Por otra parte, una de las principales características que tiene el Sistema Galeno es que cuando un médico realiza cambios a su base de conocimiento, estos cambios se traducen en modificaciones a las relaciones entre enfermedades y sus signos/síntomas pero también en el fichero de reglas que es utilizado para el proceso de inferencia. Esto quiere decir que los cambios en la base de conocimiento implican una redefinición de las reglas. Para acelerar este proceso, lo que se hace es que al iniciar el Sistema Galeno se carga en memoria un modelo de la base de conocimiento, esto agiliza la recuperación de información, y solamente tras confirmar un cambio a la base de conocimiento se accede físicamente a la ontología para realizar dicho cambio y al fichero de reglas para su redefinición.

5.5 MÉTODOS DE CONSENSO

En este apartado se detalla el funcionamiento de los tres métodos que se han empleado para obtener las bases de conocimiento consensuadas de ambos experimentos. El diseño de estos métodos de consenso fue necesario debido a que las técnicas existentes para la creación de bases de conocimiento, particularmente ontologías, no dan respuesta a las necesidades de esta investigación. A continuación se presentan y se explican las técnicas que se han evaluado como opciones para obtener las bases de conocimiento consensuadas y posteriormente, en esta misma sección, se explicarán los métodos creados para este propósito.

5.5.1 ALINEACIÓN DE ONTOLOGÍAS (ONTOLOGY ALIGNMENT)

En el campo de la investigación de ontologías el término Alignment se encuentra relacionado y en muchas ocasiones confundido y contradicho con otros términos como mapping y merging. En (Ehrig, 2007) el autor define el término como sigue: Alinear algo significa ponerlo en línea. Esta breve definición enfatiza que alinear es la actividad después de la cual los objetos involucrados se encuentran en una relación mutua. Los autores basándose en la definición de (Klein, 2001) dicen que dadas dos ontologías, alinear una con la otra significa que por cada entidad (concepto, relación o instancia) en la primera ontología se trata de encontrar una entidad correspondiente en la segunda ontología con el mismo significado. Por lo tanto la alineación es una relación de equidad de uno a uno. Obviamente para algunas entidades puede no haber un término

⁴² <http://jena.apache.org/>

correspondiente. El resultado de un proceso de alineación puede ser de dos tipos, el primero es en formato OWL que tiene la ventaja de poder ser utilizado por motores de inferencia, el segundo es en formato RDFRDF/XML para formalizar la alineación de ontologías. Las alineaciones individuales son agrupadas en celdas en donde cada celda tiene como atributos la entidad de la ontología 1, la entidad de la ontología 2, la medida (como porcentaje) y la relación. En esta etapa se probaron dos herramientas. La primera prueba se realizó utilizando una herramienta llamada AgreementMaker⁴³, la cual fue utilizada como aplicación standalone. En este caso se fueron utilizadas dos ontologías con la misma estructura pero con contenido diferente. En la figura 16 se muestra el resultado de hacer la alineación de ontologías.

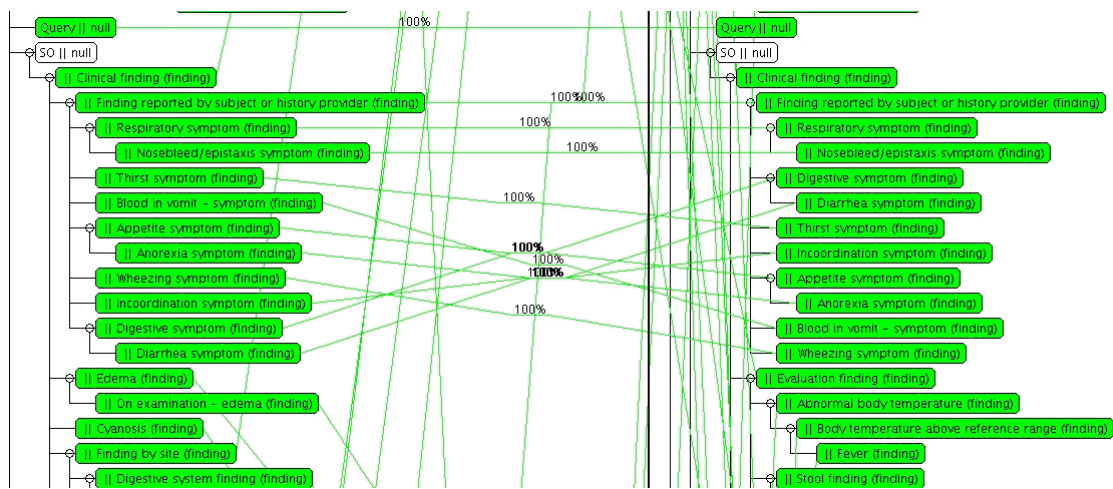


Figura. 18 Alineación de ontologías con AgreementMaker

El proceso de alineación de ontologías por medio de AgreementMaker consiste en cargar dos ontologías, una tomada como fuente y otra como objetivo, seleccionar un matcher, configurar los parámetros y ejecutar el alineamiento. El resultado es similar a lo que se muestra en la figura 16, en el cual se pueden ver las estructuras de ambas ontologías y la unión de los conceptos por medio de líneas ponderadas con el porcentaje de similitud entre los conceptos relacionados. A partir de este paso se puede importar el alineamiento en un fichero con formato RDFRDF. Por una parte, aun cuando el resultado del alineamiento es bastante preciso, este proceso es manual por lo que para alinear pocas ontologías puede ser útil pero cuando el número aumenta entonces consumirá demasiado tiempo.

En la segunda prueba, dado que el proceso anterior es manual y la cantidad de ontologías a alinear es grande se buscó un método para hacer el alineamiento de forma automática, para eso se utilizó el fichero ProcAlign.jar como API dentro de una aplicación Java obtenido de la página Web de AlignmentAPI⁴⁴.

⁴³ <http://agreementmaker.org>

⁴⁴ <http://alignapi.gforge.inria.fr/align.html>

Nuevamente el resultado es un fichero OWL o RDF que no mantiene la estructura jerárquica de las ontologías originales, es decir, las entidades se encuentran y la similitud entre ambas ontologías se aprecia pero estas entidades no se encuentran relacionadas con ninguna otra. Por otro lado, si el proceso se repite por cada dos ontologías se obtendría un alineamiento, lo cual obligaría primero a hacer todas las combinaciones de 2 en 2 del conjunto de ontologías y después hacer un análisis de los ficheros de alineamiento obtenidos.

Después de hacer las pruebas con ambas herramientas, se observó que el resultado de la alineación de ontologías no mantiene la misma estructura jerárquica que las ontologías fuente. También se pudo ver que este proceso solo hace una comparación entre los términos de las ontologías y no una comparación que genere como resultado una sola ontología con los términos comunes sin repetición, además de que no es posible establecer porcentajes de similitud que permita crear ontologías por medio de niveles de consenso, es decir, ontologías que sean similares, por ejemplo, en un 20% de sus términos. Estas son las razones por las cuales este proceso fue descartado como método de consenso.

5.5.2 FUSIÓN DE ONTOLOGÍAS (ONTOLOGY MERGING)

En (Hitzler et al., 2005) se puede encontrar una explicación de lo que es la fusión de ontologías. Los autores argumentan que las ontologías están concebidas como medios para compartir y reutilizar conocimiento y una tarea típica es comparar dichas ontologías y combinarlas en una más extensa. A este proceso se le conoce como fusión de ontologías. Los autores afirman que dos conjuntos parcialmente ordenados se pueden considerar equivalentes si existe una función biyectiva de uno a uno entre conjuntos que además conserven el orden. Para el proceso de fusión de ontologías se utilizó Protégé como aplicación standalone. Protégé ofrece la capacidad de realizar este proceso de forma similar al proceso anterior de alineamiento, es decir, se cargan las ontologías que se quieren fusionar, pero a diferencia de AgreementMaker Protégé permite hacer la fusión de varias ontologías a la vez y almacenar el resultado en una nueva ontología. El resultado de este proceso se muestra en la figura 17.

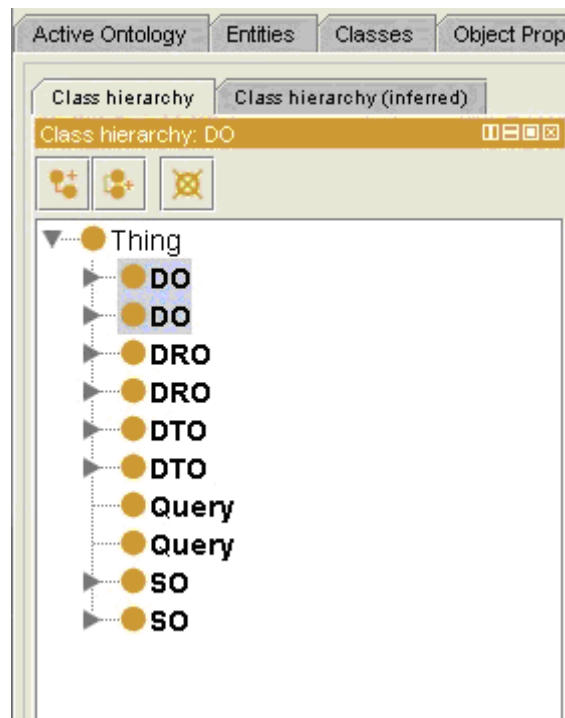


Figura. 19 Resultado del proceso de Fusión de Ontologías con Protégé

Dado que las ontologías que se pretenden fusionar tienen la misma estructura, se trabajó con ficheros ddxont.owl diferentes en su contenido más no en su estructura. El resultado fue una duplicidad de términos. Esta repetición de términos hace que una misma enfermedad aparezca varias veces en la misma ontología, lo cual provoca que los signos/síntomas y pruebas diagnósticas que estén relacionados con cada enfermedad también se repitan generando con esto una estructura que complicaría el proceso de inferencia. Además, Dado que hay una ontología por cada médico, el resultado de la fusión tendría un sinnúmero de información duplicada y por lo tanto sería aún más complicado obtener una ontología consensuada resultante con información no duplicada debido a que el proceso implica contar presencias de signos/síntomas y pruebas diagnósticas por cada enfermedad presente en cada ontología.

Debido principalmente al problema de la duplicidad de términos y al hecho de que el proceso de fusión de ontologías tampoco permite establecer niveles de consenso, esta opción también ha sido descartada.

5.5.3 MAPEO DE ONTOLOGÍAS (ONTOLOGY MAPPING)

En el trabajo de (Kalfoglou & Schorlemmer, 2003) los autores afirman que el mapeo de ontologías está visto como otra opción de combinación en el panorama actual de la investigación de ontologías. El número de ontologías públicas disponibles ha ido en aumento así como la necesidad de aplicaciones que las utilicen. Una sola ontología ya no es suficiente para afrontar las tareas de un entorno distribuido como la Web

semántica. Se necesitan múltiples ontologías accedidas por múltiples aplicaciones. El mapeo puede proporcionar una capa común en donde se pueda acceder a múltiples ontologías y por lo tanto intercambiar información de manera semántica. Los autores argumentan que el mapeo de ontologías es la tarea de relacionar el vocabulario de dos ontologías que comparten el mismo dominio de forma que la estructura de las ontologías y sus interpretaciones pretendidas sean respetadas. Por lo tanto, se debe caracterizar al mapeo de ontologías como una función morfológica de ontologías. Por otra parte, los autores argumentan que el mapeo de ontologías está considerado como una parte de tareas más ambiciosas concernientes a la alineación y fusión de ontologías. De tal forma que se puede decir que el mapeo de ontologías es la tarea de establecer una relación binaria entre vocabularios de dos ontologías.

Para el proceso de mapeo de ontologías se ha utilizado OntoMap (Kiryakov, Simov, & Dimitrov, 2001), que se puede agregar como un plug-in a OntoStudio, el cual a su vez es un producto de Ontoprise⁴⁵.

El resultado del mapeo de ontologías se muestra en la figura 18. Aun cuando es posible hacer el mapeo de ontologías, sigue siendo un proceso manual que consume demasiado tiempo cuando se trata de muchas ontologías. Además, el mapeo es un subproceso de un proceso más amplio que es la alineación, cuyos resultados se mostraron previamente.

⁴⁵ <http://www.ontoprise.com>

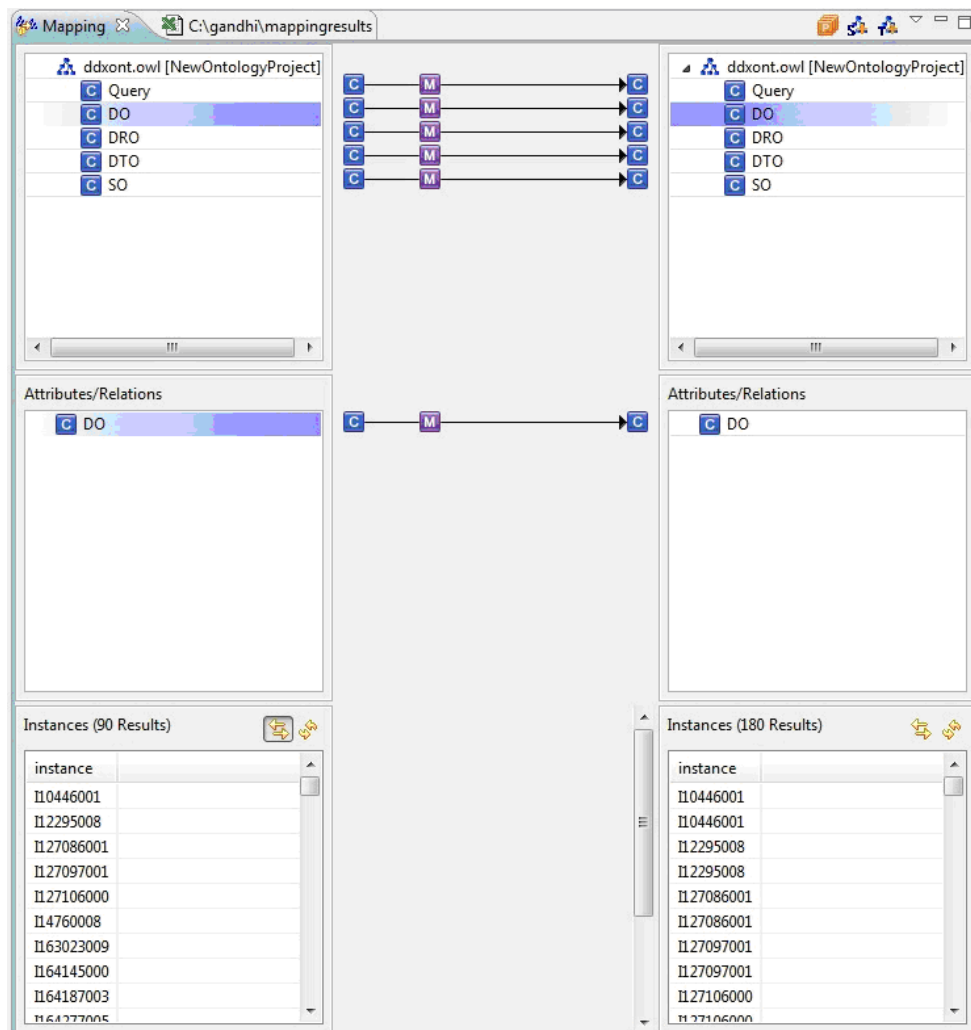


Figura. 20 Resultado del proceso de Mapeo de Ontologías

Como se ha visto hasta ahora, existen algunos métodos para realizar comparación de ontologías. Estos métodos trabajan principalmente de las tres formas que se han mencionado, es decir, hacen la alineación, mapeo y fusión de ontologías. Sin embargo, para el caso específico de esta investigación, estos métodos presentan algunos problemas. Por ejemplo, la alineación de ontologías hace una comparación de términos buscando el grado de similitud entre los mismos, pero dado que en esta investigación se utilizan ontologías que tienen los mismos términos entonces al hacer la comparación el resultado siempre es un 100% de similitud, lo cual es un hecho que se conoce de antemano. El mapeo de ontologías trabaja de forma similar a la alineación, es decir, establece una relación entre términos con base en su similitud, de hecho, es un subproceso de la misma. La fusión de ontologías tiene el problema de que genera una nueva ontología con información duplicada. Finalmente, un problema común que presentan los tres métodos es que no respetan la estructura jerárquica original, por lo que dificultaría en gran medida la recuperación de datos.

Dada esta situación, se ha optado por diseñar tres métodos de consenso de ontologías que se enfoquen en resolver la problemática. Estos métodos se presentan a continuación.

5.5.4 COINCIDENCIA DE SIGNOS/SÍNTOMAS.

Este método de consenso toma en cuenta el porcentaje de coincidencia en la definición de signos/síntomas. Con este método se pueden definir diferentes niveles de consenso. El valor de los niveles se va incrementando en rangos de N en N hasta alcanzar el 100%. Por ejemplo, para un consenso del 60% solamente los signos/síntomas en el 60% o más de los casos son tomados en cuenta para la construcción la ontología consensuada. En la figura 19 se muestra un ejemplo de este método.

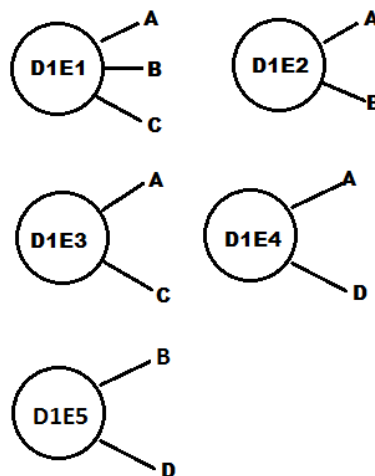


Figura. 21 Coincidencia de Expertos en la definición de signos

Con referencia a la figura anterior, cada círculo representa la opinión acerca de una enfermedad particular en la base de conocimiento de un experto. D1E1 representa la estructura de la enfermedad 1 (Disease 1) en la base de conocimiento del Experto 1, y así sucesivamente. A, B, C, D, representan los signos relacionados con esa enfermedad. Si se establece un nivel de consenso del 60% entonces solamente los signos representados por A y B estarían en la ontología consensuada ya que se encuentran presentes en el 60% de los casos, es decir, en las bases de conocimiento de 3 o más médicos.

5.5.5 SIMILITUD POR PARES.

Este método consiste en hacer comparaciones por pares de bases de conocimiento individuales y con el objetivo de realizar el consenso se toman en cuenta los pares que tienen el nivel más alto de similitud. La ontología consensuada se puede construir de dos formas, 1) haciendo la unión de todas ellas y 2) haciendo la intersección entre ellas. La figura 20 muestra un ejemplo de este tipo de consenso.

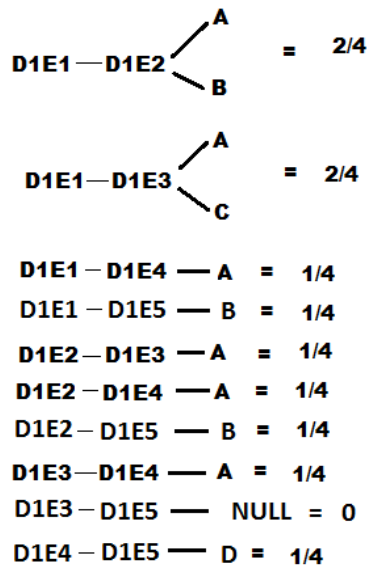


Figura. 22 Similitud por Pares

Siguiendo con el modelado de D1 por parte de los expertos presentado en la figura 19, y haciendo referencia a la figura 20 este método de consenso proporciona un análisis de la opinión de los médicos agrupados por pares. En este caso hay un total de 4 signos/síntomas representados por A, B, C, D para la enfermedad 1 representada por D1, por lo que si la opinión del experto 1 (E1) y el experto 2 (E2) se juntan entonces se puede observar que coinciden en 2 de los 4 signos/síntomas totales. Esto significa que coinciden en 2/4 partes, es decir en un 50%, pero el experto 2 (E2) y el experto 3 (E3) solo tienen en común el signo/síntoma A, por lo que coinciden solamente en 1 de los 4 signos/síntomas, es decir en 1/4 parte equivalente al 25%. Continuando con esto, el resultado final es como se muestra en la figura 20. Finalmente se toman en cuenta aquellas comparaciones donde se hayan obtenido los valores más altos para la construcción de la base de conocimiento consensuada, esto es, los dos primeros casos, por lo que hacer el consenso basado en la similitud por pares basada en la unión de las opiniones individuales de los expertos la base de conocimientos resultante tendrá los signos/síntomas A, B y C. Si el consenso se hace con base a la intersección de las opiniones individuales de los expertos la base de conocimientos resultante tendrá solamente el signo/síntoma A.

5.5.6 PONDERACIÓN BASADA EN MODIFICACIONES.

Este método consiste en contar las modificaciones que cada experto hace a su propia base de conocimiento. Se asignan pesos a cada experto y después se define un nivel de consenso. Los pesos de los expertos son asignados dependiendo del número de modificaciones que hayan hecho a la base de conocimiento original. Para definir la ponderación de cada experto se han utilizado los siguientes términos:

KB = Número de elementos de la base de conocimiento original.

FM = Número de elementos que el experto ha introducido al hacer el modelado.

C = Número de elementos coincidentes entre los que el experto ha introducido y los que existen en la base de conocimiento original.

FI (Fallo de Introducción) representa el número de elementos que el experto ha introducido al hacer el modelado pero no están en la base de conocimiento original. FI se calcula mediante la fórmula:

$$(1) FI = FM - C.$$

FA (Fallo de aserción) representa el número de elementos que el experto no ha introducido como parte del modelado de una enfermedad y están en la base de conocimiento original.

$$(2) FA = KB - C$$

De igual forma se ha determinado asignarle un mayor peso a FA ya que son elementos que están en la base de conocimiento original y, dado que esta representa el estándar de oro, se penaliza más que no se hayan introducido estos elementos. Finalmente, la fórmula para calcular el peso o ponderación es:

$$P = \frac{C - \frac{FI}{2} - FA}{KB}$$

FI se divide entre dos, porque son los elementos “menos importantes” y por lo tanto se reduce su importancia a la mitad. Así mismo dividimos por “KB” para escalar los resultados y que independientemente del número de elementos que comprenda la enfermedad los resultados sean más lineales.

Por ejemplo, el Asma tiene 5 signos asociados en la base de conocimiento original, si y el Experto 1 (E1), al hacer el modelado introduce 9 signos de los cuales coincide en 4 con la base de conocimiento original, entonces su ponderación sería la siguiente:

- KB = 5
- FM = 9
- C = 4
- FI = FM - C = 9 - 4 = 5
- FA = KB - C = 5 - 4 = 1

$$P = \frac{C - \frac{FI}{2} - FA}{KB} = \frac{4 - \frac{5}{2} - 1}{5} = \frac{0.5}{5} = 0.1$$

El mayor de los pesos de los expertos se ha tomado como peso total, de forma que si el peso total es 1.3 y se quiere un nivel de consenso de 40% entonces el peso mínimo a ser tomado en cuenta es:

$$0.40 * 1.3 = 0,52$$

Por lo que las ontologías de los médicos cuya ponderación sea ($p \geq 0,52$) serán tomadas en cuenta para el consenso. Nuevamente en este método las ontologías consensuadas se obtendrán a través de la unión y la intersección de las ontologías seleccionadas.

6. VALIDACIÓN.

En esta sección se muestran los resultados tras haber realizado los dos experimentos y haber hecho la comparación con los resultados obtenidos por medio del sistema que se ha utilizado como estándar de oro. Primeramente se presentarán las tablas y gráficas que muestran este análisis de forma detallada, es decir, enfermedad por enfermedad para el primer experimento y posteriormente se presentan los resultados de forma global, es decir, cómo se han comportado ambos sistemas al trabajar con la base de conocimientos completa.

Como se ha mencionado con anterioridad, el análisis de los resultados se ha hecho por medio de la comparación entre los valores de las métricas generadas por medio del sistema que se ha tomado como estándar de oro contra los valores de las métricas generadas por el mismo sistema pero utilizando las bases de conocimiento consensuadas.

6.1 ANÁLISIS DE DATOS

Dado que para esta investigación se han definido tres métodos de consenso y se han modelado un conjunto de diez enfermedades divididas en dos experimentos, el número de ontologías a comparar asciende a 60, cuya exactitud se tendrá que comparar con la ofrecida por el estándar de oro. Sin embargo, en esta sección se presentan las tablas comparativas que muestran los valores de las métricas obtenidas del estándar de oro y los valores de las métricas que se consideran dieron los mejores resultados para cada comparación. Las tablas con los resultados completos se presentarán en la sección de anexos.

Como parte de esta investigación se ha hecho un análisis del número de indicios que presenta cada una de las enfermedades y se han comparado con los indicios que la misma enfermedad en la base de conocimientos EO. De igual forma, se han definido, como parte de este análisis, dos tipos de diferencias. A la primera de ellas se le ha llamado diferencia Cuantitativa. Esta indica solamente la diferencia en cuanto al número o la cantidad de indicios entre la base de conocimientos generada para cualquier enfermedad en todos los métodos de consenso en comparación con el estándar de oro. Por ejemplo, para el caso de la Bronquitis el EO presenta 18 signos y 0 pruebas diagnósticas, es decir 18 indicios en total, y M1-20 presenta 46 signos y 3 pruebas diagnósticas, es decir 49 indicios en total. Entonces la diferencia Cuantitativa entre estas dos bases de conocimiento es de 31. Esta diferencia se ha catalogado como Cuantitativa porque hace referencia solo a la cantidad de indicios sin especificar si son los mismos o no que los que se han definido para el EO. La siguiente tabla explica de forma genérica esta diferencia.

		D1	
		EO	M1-20
indicios	A	A	A
	B	B	B
	C		
	D		
Diferencia Cuantitativa		2	

Tabla 2. Diferencia Cuantitativa.

Por ejemplo, si el EO para la enfermedad D1 presenta los indicios A, B, C, D y M1-20 presenta los indicios A, B, entonces existe una diferencia Cuantitativa de 2.

Entonces, la diferencia Cuantitativa se ha definido como: la diferencia entre el número de indicios que se encuentran en el EO y el número de indicios que se encuentran en cada una de las bases de conocimiento consensuadas por cada enfermedad y por cada nivel. En las siguientes tablas se muestran los valores de estas diferencias enfermedad por enfermedad. De igual forma, es necesario señalar que los valores positivos indican que el método de consenso en cuestión ha registrado mayor cantidad de indicios, y los valores negativos indican que es el EO el que finalmente tiene mayor cantidad de indicios.

Como parte de esta investigación, de igual forma se ha definido la diferencia Cualitativa. Esta diferencia hace referencia a aquellos indicios que se encuentren en la base de conocimiento consensuada pero que sean diferentes a la base de conocimiento que representa el EO. Por ejemplo, si para la enfermedad D1 el EO presenta los indicios A, B, C, D, y M2 presenta los indicios A, B, C, E entonces la diferencia Cualitativa sería de 1, mientras que la diferencia Cuantitativa es de 0. Lo que significa que aunque tengan la misma cantidad de indicios hay un indicio diferente. Esto se puede entender mejor en la siguiente tabla.

		D1	
		EO	M2
indicios	A	A	A
	B	B	B
	C	C	C
	D		E
Diferencia Cualitativa		1	

Tabla 3. Diferencia Cualitativa

La diferencia Cualitativa se puede entender también como el nivel de similitud que existe entre las bases de conocimiento consensuadas y el EO, por lo que a menor diferencia Cualitativa es mayor la similitud.

6.1.1 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 1. (BASE DE CONOCIMIENTO VACÍA).

Para el primer experimento se han escogido cinco enfermedades: Bronquitis, Cólera, Gastroenteritis, Meningitis y Neumonía.

Estas enfermedades fueron escogidas con base en el número de indicios que se habían definido previamente en la base de conocimiento original, es decir, la que se ha tomado como estándar de oro y que fue poblada con base en la literatura médica.

A continuación se presentan las tablas con la cantidad de signos/síntomas y pruebas diagnósticas que cada enfermedad presentó para cada uno de los métodos de consenso y para la base de conocimiento estándar de oro.

Para la representación de estas tablas se ha decidido adoptar la siguiente nomenclatura:

E/O – Es la base de conocimiento que se ha seleccionado como estándar de oro

MX-N – Donde X representa el método de consenso que se haya aplicado y N el nivel, en caso de que exista. Por ejemplo, el primer método de consenso en un nivel del 20 % se representará como M1-20. Para los métodos de consenso que no tengan definidos niveles, solamente se representarán como MX.

6.1.1.1 MEDICIÓN DE VALORES CUANTITATIVOS PARA EL EXPERIMENTO 1.

Bronquitis									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/ síntomas	18	46	19	8	2	2	21	7	35
Pruebas Diagnósticas	0	3	0	0	0	0	3	0	0
Diferencia Cuantitativa		31	1	-10	-16	-16	6	-11	17

Tabla 4. Diferencia Cuantitativa Bronquitis

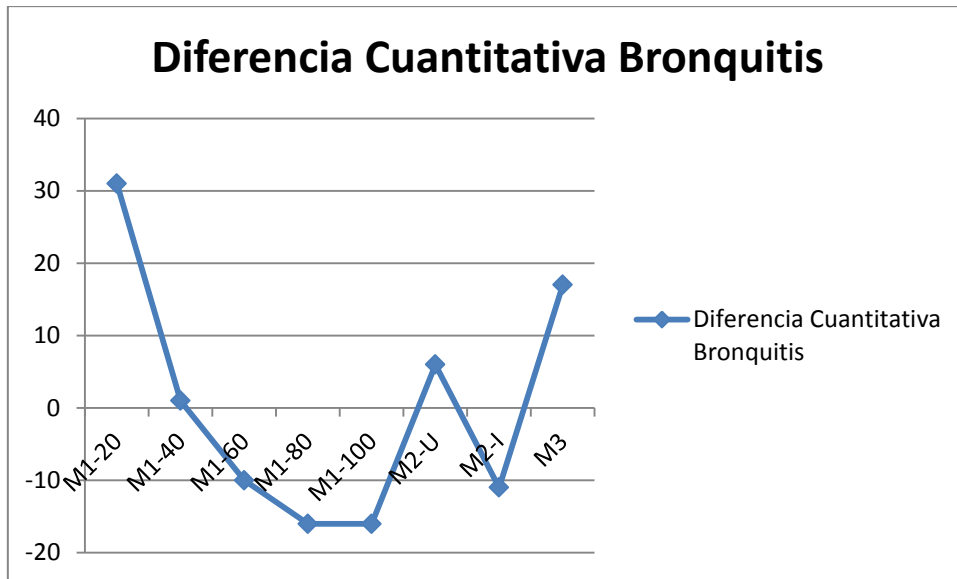


Figura. 23 Diferencia Cuantitativa Bronquitis

Cólera									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/ Síntomas	13	50	22	7	3	2	40	11	34
Pruebas Diagnósticas	4	9	0	0	0	0	9	0	0
Diferencia Cuantitativa		42	5	-10	-14	-15	32	-6	17

Tabla 5. Diferencia Cuantitativa Cólera

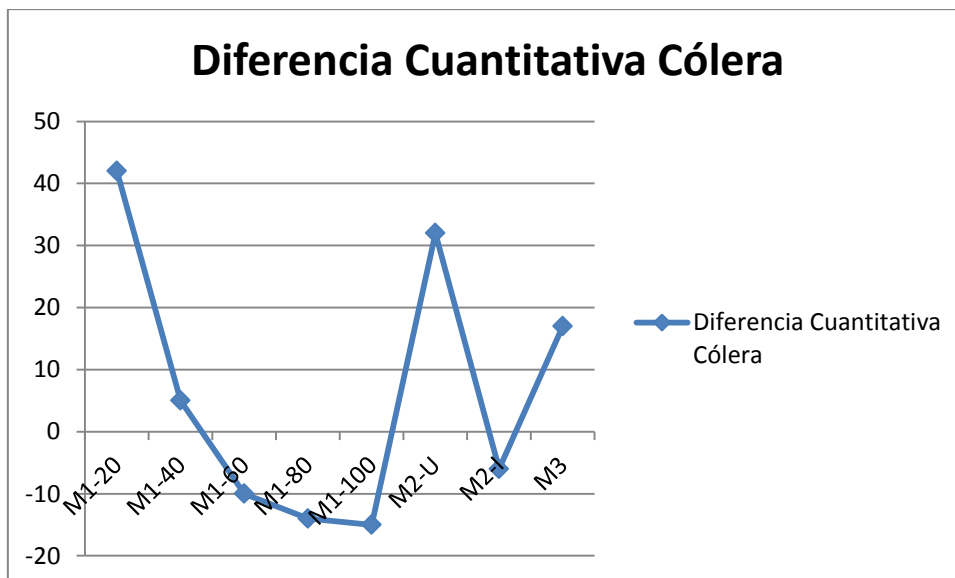


Figura. 24 Diferencia Cuantitativa Cólera

Gastroenteritis									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/ síntomas	6	38	18	7	3	1	27	10	5
Pruebas Diagnósticas	0	9	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Cuantitativa		41	12	1	-3	-5	21	4	-1

Tabla 6. Diferencia Cuantitativa Gastroenteritis

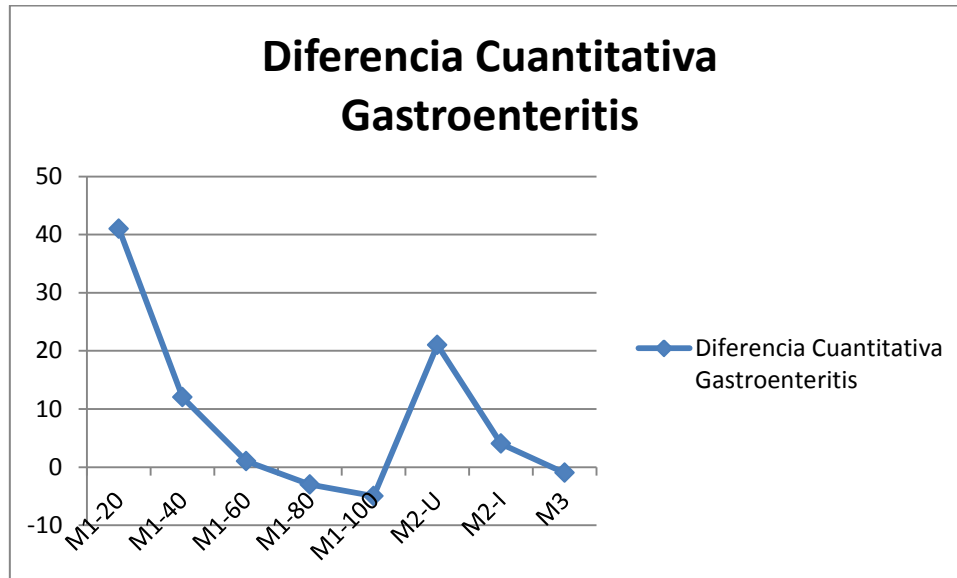


Figura. 25 Diferencia Cuantitativa Gastroenteritis

Meningitis									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/ Síntomas	15	61	22	7	3	2	13	4	19
Pruebas Diagnósticas	0	9	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Cuantitativa		55	7	-8	-12	-13	-2	-11	4

Tabla 7. Diferencia Cuantitativa Meningitis

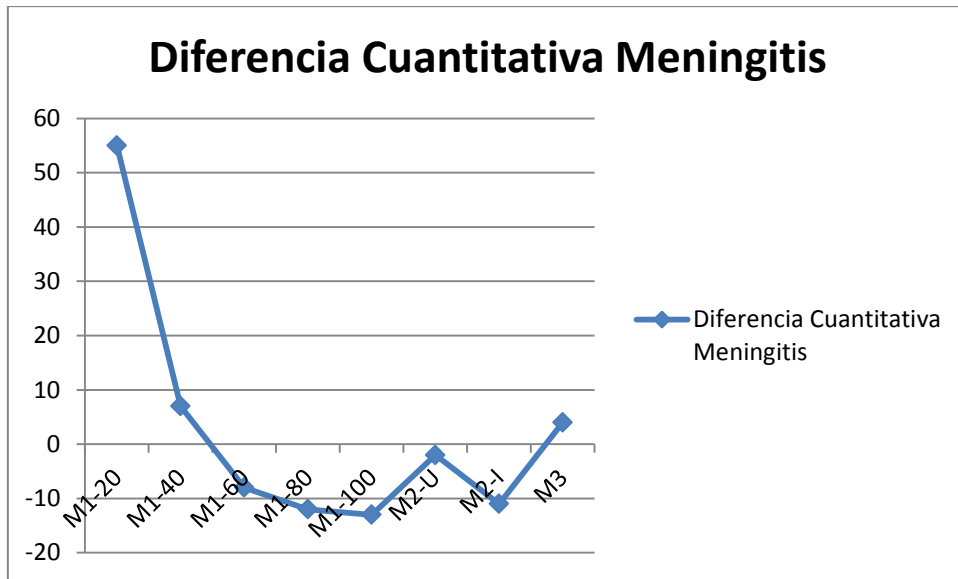


Figura. 26 Diferencia Cuantitativa Meningitis

Neumonía									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/síntomas	23	64	20	12	5	2	16	4	30
Pruebas Diagnósticas	0	7	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Cuantitativa		48	-3	-11	-18	-21	-7	-19	7

Tabla 8. Diferencia Cuantitativa Neumonía

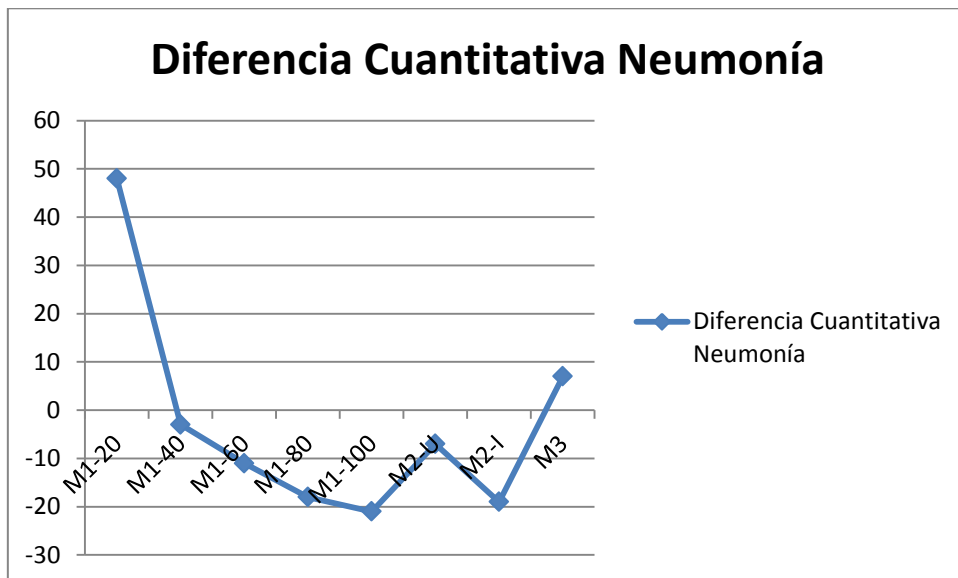


Figura. 27 Diferencia Cuantitativa Neumonía

Como se logra apreciar en las tablas anteriores, el número de indicios asociados para cada enfermedad para el primer método de consenso es mayor mientras menor es el nivel de consenso, es decir, a menor nivel de consenso se observa mayor número de indicios, y en este mismo método el nivel de consenso más bajo (20%) supera en

todos los casos al número de indicios que se encuentran en EO. Además, el número de indicios va disminuyendo conforme el nivel de consenso incrementa hasta que llega al 100%, nivel en el cual se refleja la cantidad de indicios con los que todos los expertos estuvieron de acuerdo, sin embargo, esta cantidad está en un rango de números muy pequeño (1-2) y muy por debajo de la cantidad de indicios del estándar de oro. Además, las mayores similitudes en cuanto al número de indicios con respecto al EO se encontraron en los niveles entre el 40% y el 60%, lo que indica que en estos niveles el consenso se los expertos lograron estar de acuerdo con una cantidad de indicios similar a la cantidad de indicios que contiene el EO.

El menor número de diferencias Cuantitativas igualmente se observa en los niveles de consenso ubicados entre el 40% y el 80%, lo cual indica nuevamente que son los niveles en donde los expertos han logrado modelar las enfermedades con un número de indicios más cercanos al EO.

Para el segundo método de consenso (M2) se puede observar que en la mayoría de los casos (3 de 5) la base de conocimiento generada a través de la unión registra más indicios que la del estándar de oro, y la base de conocimiento obtenida a través de la intersección igualmente en la mayoría de los casos (4 de 5) muestra menores indicios que la base de conocimiento estándar de oro. Además, la unión en todos los casos siempre presenta más indicios que la intersección.

Para el tercer método de consenso (M3) igualmente se encontró que en 4 de los 5 casos la base de conocimiento consensuada tiene mayor número de indicios que el EO, y en 3 de las 5 enfermedades M3 presenta más indicios que M2-U.

6.1.1.2 MEDICIÓN DE VALORES CUALITATIVOS PARA EL EXPERIMENTO 1.

A continuación se presentan las tablas que muestran estas diferencias Cualitativas para cada una de las enfermedades y cada uno de los consensos en este experimento. En estas tablas, la columna nombrada Indicios Iguales representa la cantidad de indicios en los que coinciden el EO y la base de conocimientos obtenida del consenso.

Bronquitis		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	10	39
M1 - 40%	4	15
M1 - 60%	3	5
M1 - 80%	0	2
M1 - 100%	0	2
M2 - U	2	22
M2 - I	0	7
M3	9	26

Tabla 9. Diferencia Cualitativa Bronquitis

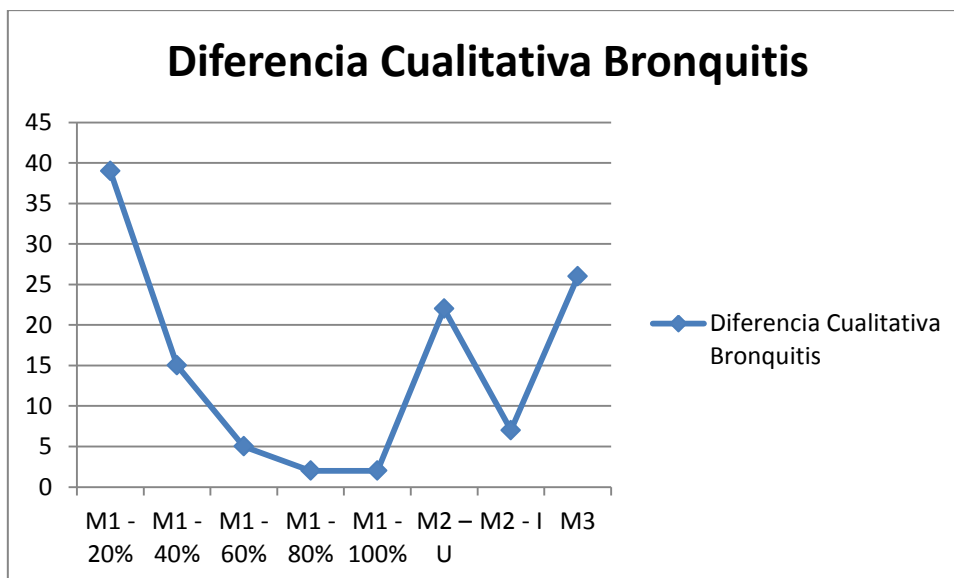


Figura. 28 Diferencia Cualitativa Bronquitis

En la tabla anterior se aprecia que en cuanto a la Bronquitis el consenso del 20% presenta 10 indicios iguales a los del EO, es decir, la mayor similitud, pero 39 indicios diferentes, mientras que el consenso del 80% y 100% no presentan ningún indicio igual a los que se encuentran en el EO, y en ambos casos hay 2 indicios diferentes, lo que significa que en estos niveles de consenso se han definido solamente dos indicios y los dos son diferentes a los definidos para el EO.

De igual forma M3 presenta 9 indicios que coinciden con el EO y una diferencia Cualitativa de 26, por lo que proporcionalmente tiene mayor similitud con el EO que M1-20%. Por otra parte M2-U es el consenso cuya similitud con EO es menor ya que presenta solamente 2 indicios iguales y una diferencia Cualitativa de 22.

Cólera		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	12	47
M1 - 40%	7	15
M1 - 60%	3	4
M1 - 80%	2	1
M1 - 100%	2	0
M2 - U	12	37
M2 - I	3	8
M3	8	26

Tabla 10. Diferencia Cualitativa Cólera

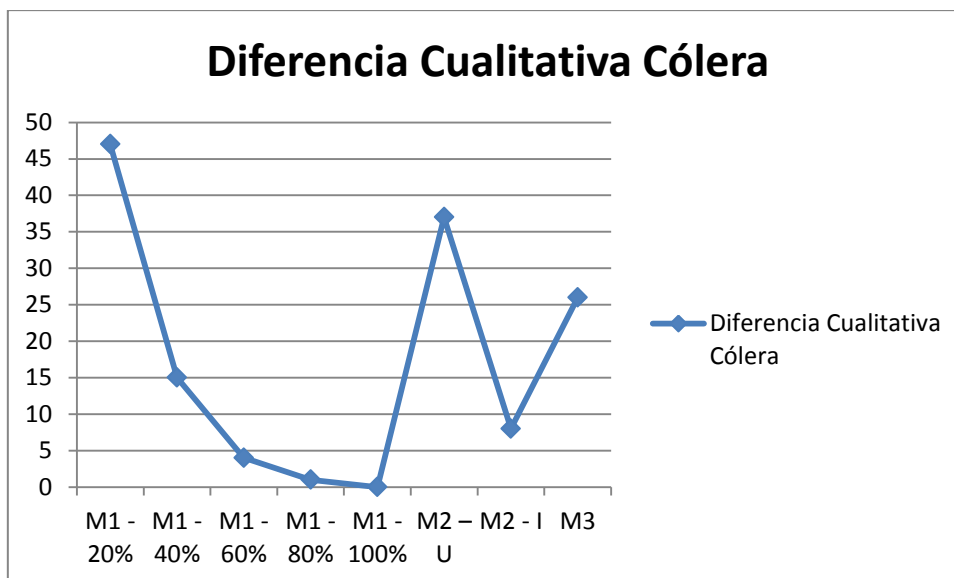


Figura. 29 Diferencia Cualitativa Cólera

En el caso del Cólera el mayor número de indicios iguales se encuentra en M1-20 y en M2-U sin embargo el segundo muestra una mayor similitud con el EO por tener una diferencia Cualitativa menor. Por otro lado, los niveles altos de consenso, entre el 80% y el 100% muestran menos indicios iguales y menor diferencia Cualitativa, pero igualmente para estos casos niveles de consenso se han definido menos indicios. Por ejemplo, M1-100% tiene una diferencia Cualitativa de 0, no hay ningún indicio diferente a los de EO, y tiene 2 indicios iguales, lo que significa que en M1-100% solamente se han definido 2 indicios.

Gastroenteritis		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	4	43
M1 - 40%	3	15
M1 - 60%	3	4
M1 - 80%	3	0
M1 - 100%	1	0
M2 - U	4	23
M2 - I	2	8
M3	3	2

Tabla 11. Diferencia Cualitativa Gastroenteritis

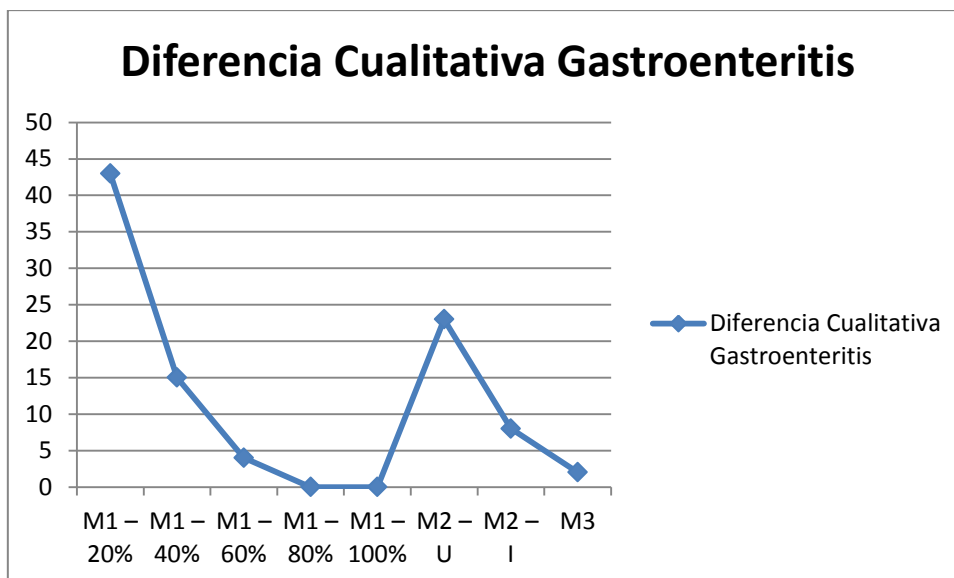


Figura. 30Diferencia Cualitativa Gastroenteritis

En el caso de la Gastroenteritis la cantidad de indicios iguales es bastante similar para todos los consensos siendo 1 el menos y 4 el mayor, sin embargo la diferencia Cualitativa va en un rango mucho más amplio, de 0 a 43. Tomando en consideración que la Gastroenteritis presenta 6 indicios en el EO entonces las bases de conocimiento que tienen mayor similitud son M1-60% y M2-I ya que son las que mayor número de indicios iguales presentan y menor diferencia Cualitativa. Además, para M1-60% se han definido 7 indicios contra 6 definidos en el EO de los cuales coincide con 3, es decir un 50%.

Meningitis		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 – 20%	13	57
M1 – 40%	8	14
M1 – 60%	6	1
M1 – 80%	3	0
M1 – 100%	2	0
M2 – U	4	9
M2 – I	4	1
M3	7	12

Tabla 12. Diferencia Cualitativa Meningitis

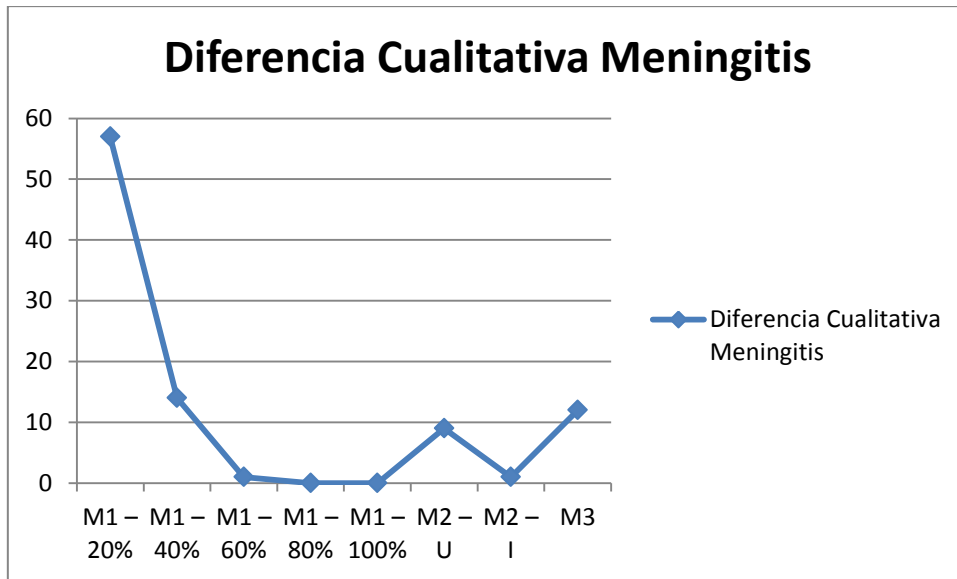


Figura. 31 Diferencia Cualitativa Meningitis

En la Meningitis la cantidad de indicios iguales se encuentra en un rango entre los 2 y los 13 siendo este último valor el que más se acerca a la cantidad de indicios que se han definido en el EO que es de 15, pero también el que mayor diferencia Cualitativa presenta. Entonces la base de conocimiento definida para el consenso M1-20% como la más completa por tener prácticamente todos los indicios de EO y 57 adicionales. Por otra parte, M1-80%, M1-100% y M2-I muestran las menores diferencias Cualitativas pero también la menor cantidad de indicios iguales.

Neumonía		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	17	54
M1 - 40%	9	11
M1 - 60%	6	6
M1 - 80%	2	3
M1 - 100%	2	0
M2 - U	5	11
M2 - I	2	2
M3	11	19

Tabla 13. Diferencia Cualitativa Neumonía

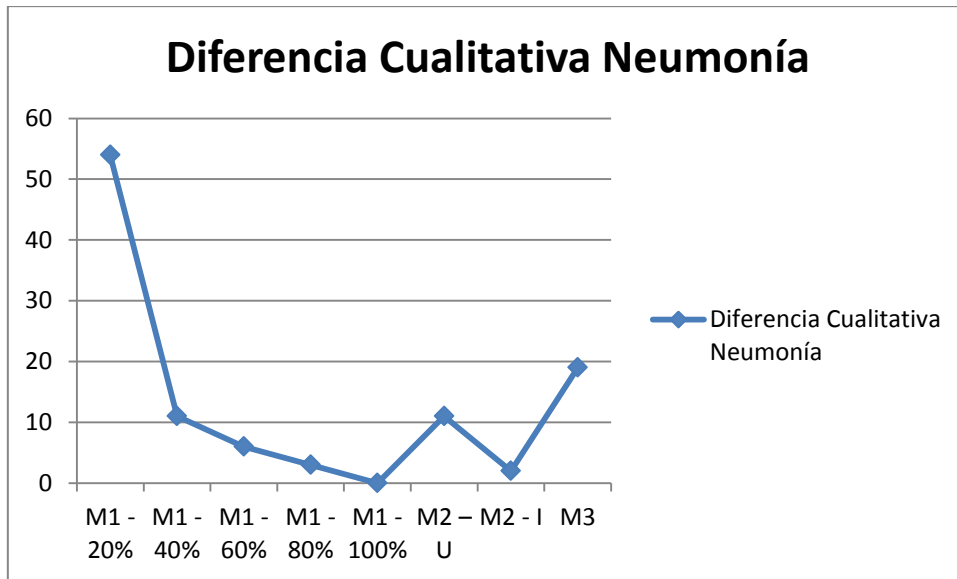


Figura. 32 Diferencia Cualitativa Neumonía

La Neumonía define para el EO 23 indicios y el consenso que más indicios iguales presenta es M1-20% pero también el que mayor diferencia Cualitativa presenta. Por otra parte, M1-100% y M2-I son los consensos que muestran la menor diferencia Cualitativa pero igualmente el menor número de indicios iguales y como dato adicional el menor número de indicios definidos, 2 y 4 respectivamente.

Como resumen general de estas tablas se puede deducir que los métodos de consenso en los que se definen más indicios son los que tienen los valores más altos tanto para indicios iguales como para diferencia Cualitativa, y estos se encuentran, para el caso de M1 en los niveles más bajos de consenso. En estos casos, las bases de conocimiento obtenidas para esos niveles se pueden considerar las más completas porque además de coincidir en mayor grado con el EO definen más número de indicios adicionales con lo que esto ofrece al sistema de soporte a la decisión mayor cantidad de información.

Al establecer la comparación entre M2-U y M2-I se puede notar que M2-U muestra mayor similitud con el EO por tener mayor número de indicios coincidentes, además, es más completa por añadir mayor cantidad de indicios nuevos.

Al comparar M2-U con M3 se puede ver que de M3 se puede obtener mayor grado de similitud con el EO, por ejemplo para el caso de la Bronquitis M3 presenta una similitud de 0,5 ya que coincide en 9 de los 18 indicios del EO, en cambio M2-U presenta una similitud de 0,111 porque coincide solamente en 2 de los 18 indicios del EO.

A continuación se presentan las tablas resumen junto con sus gráficas para cada enfermedad. En estas tablas se muestran los consensos que arrojaron los valores más altos en las métricas. Las tablas con completas con todos los consensos se muestran en la sección de anexos.

	Bronquitis				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	33,33%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Accuracy	80,00%	100,00%	90,00%	90,00%	100,00%
Specificity	77,78%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	75,46%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Tabla 14. Resultado resumen Bronquitis

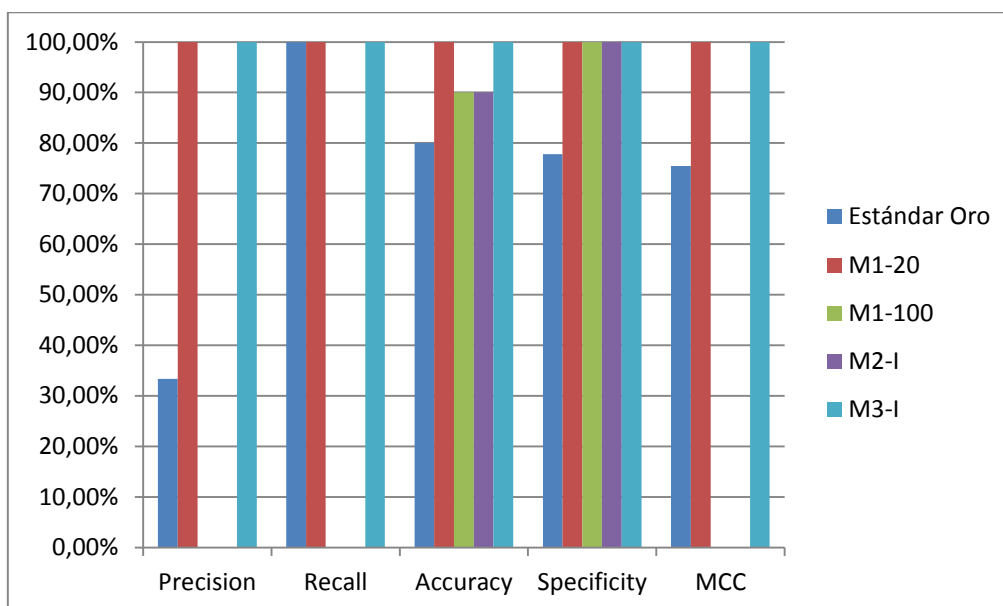


Figura. 33 Gráfica resultado resumen Bronquitis

En el caso de la Bronquitis se observó que los valores más altos en las métricas corresponden a M1-20 y M3-I. Ambos métodos de consenso superaron en todas las métricas al EO a excepción de recall en donde el EO muestra un valor del 100%. Para el caso de accuracy y specificity los métodos de consenso también logran superar las métricas del EO y en MCC los métodos de consenso M1-20 y M3-I nuevamente muestran valores más altos que los observados en EO.

	Cólera				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	95,00%	95,00%	90,00%
Specificity	100,00%	89,47%	100,00%	100,00%	94,74%
MCC	100,00%	46,18%	0,00%	0,00%	47,37%

Tabla 15. Resultado resumen Cólera

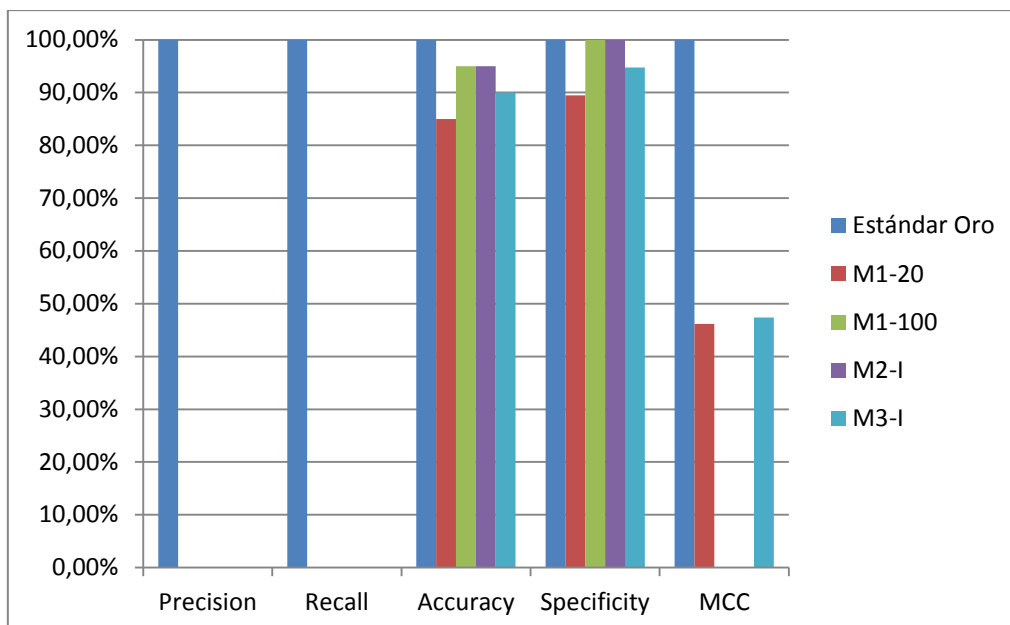


Figura. 34 Gráfica resultado resumen Cólera

En el caso del Cólera el EO presenta para 4 de las 5 métricas un valor muy por encima de los métodos de consenso a excepción de accuracy en donde se observa una diferencia que va 15% al 5% y en specificity en donde los métodos de consenso logran alcanzar el mismo valor máximo (100%) que el EO y en los métodos de consenso en donde no se logra alcanzar este valor las diferencias son menores al 12% para todos los métodos de consenso.

	Gastroenteritis				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Recall	75,00%	25,00%	0,00%	0,00%	25,00%
Accuracy	95,00%	85,00%	80,00%	80,00%	85,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	92,01%	72,94%	0,00%	0,00%	72,94%

Tabla 16. Resultado resumen Gastroenteritis

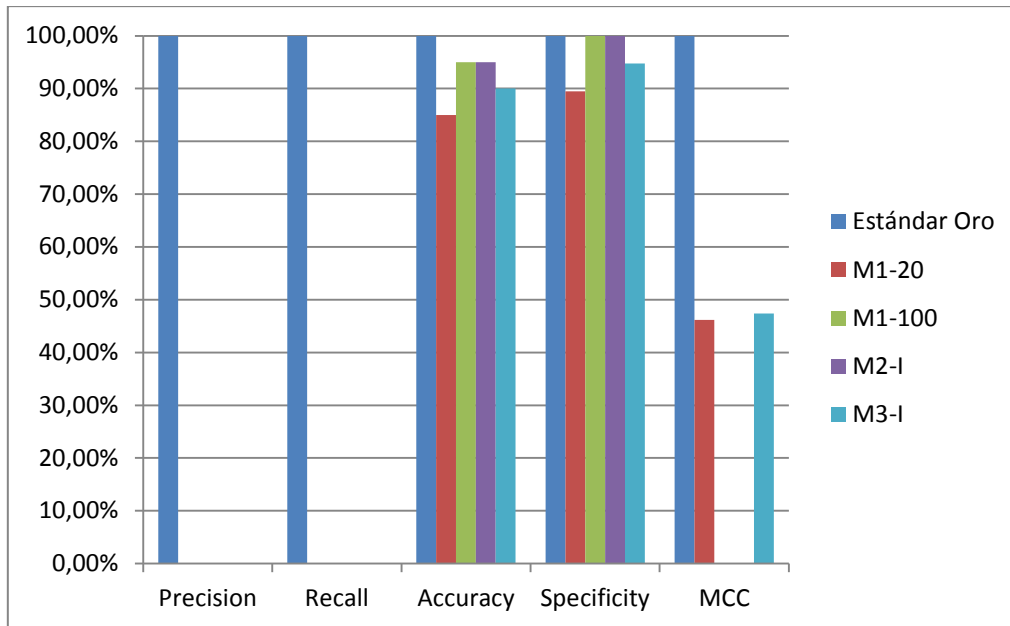


Figura. 35 Gráfica resultado resumen Gastroenteritis

En la tabla de la Gastroenteritis se puede ver nuevamente que las métricas de precision y specificity en los métodos de consenso logran igualar el valor obtenido en el EO siendo este el valor máximo. Los valores de accuracy de los métodos de consenso muestran una diferencia del 10% al 15% menor en comparación con el EO, mientras que en MCC esa diferencia es del 20% aproximadamente.

	Meningitis				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	100,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	66,67%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	85,00%	85,00%	85,00%
Specificity	100,00%	88,24%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	74,50%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 17. Resultado resumen. Meningitis

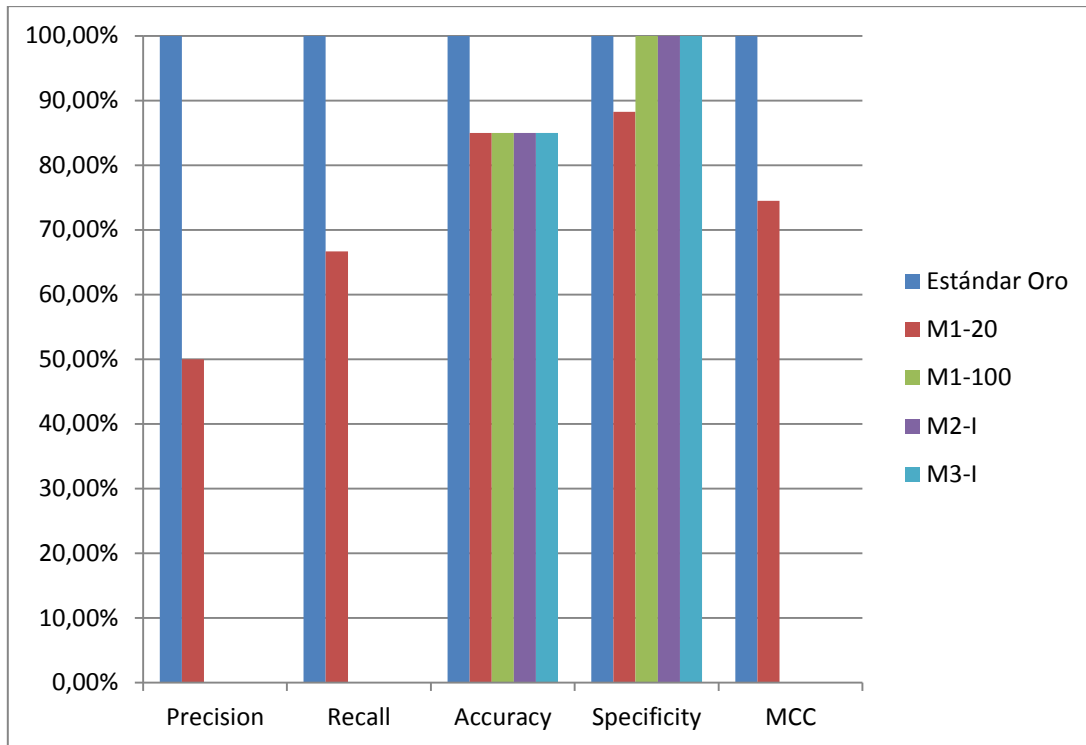


Figura. 36 Gráfica resultado resumen Meningitis

En la Meningitis tanto para precision como para recall los valores de las métricas se alejan del 100% que muestra el EO, pero los valores más cercanos al EO se observan en accuracy con una diferencia del 15% y más aún en specificity, métrica en la cual 3 de los 4 métodos de consenso que se muestran en la tabla logran igualar al EO.

	Neumonía				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	80,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Recall	100,00%	50,00%	0,00%	0,00%	50,00%
Accuracy	95,00%	90,00%	80,00%	80,00%	90,00%
Specificity	93,75%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	93,30%	83,33%	0,00%	0,00%	83,33%

Tabla 18. Resultado resumen. Neumonía

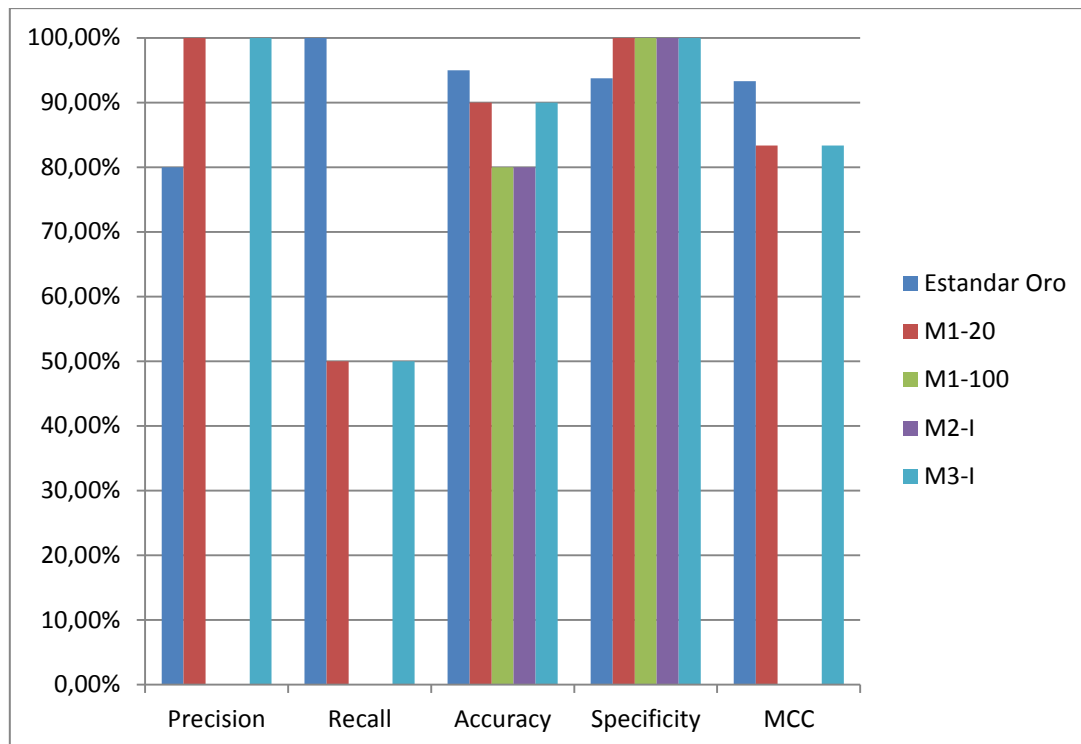


Figura. 37 Gráfica resultado resumen Neumonía

La Neumonía muestra, en los métodos de consenso M1-20 y M3-I, valores de precision que superan al EO, además en cuanto a accuracy las métricas en los métodos de consenso se observa una diferencia que va del 5% al 15%. Para la métrica specificity los métodos de consenso logran superar el valor del EO.

Hasta aquí se ha hecho el análisis de los datos enfermedad por enfermedad para el experimento 1 para todas las métricas para aquellos casos en donde los métodos de consenso han dado como resultado los mejores valores. Se puede observar que en la mayoría de los casos los valores en las métricas obtenidas a través del uso de las bases de conocimiento consensuadas logran superar o al menos igualar los valores obtenidos por el EO. Otro dato de gran importancia es el caso particular de Specificity en donde en todos los casos, para cada una de las enfermedades, los métodos de consenso lograron los valores más altos alcanzando y superando los valores de EO. La importancia de este dato radica en que esta métrica se distingue por medir qué tan adecuado es el clasificador con respecto a la enfermedad que se está midiendo, por lo que los valores altos indican que el sistema utilizando las bases de conocimiento consensuadas logra detectar de forma correcta la enfermedad que se está tratando.

A continuación se presentan las tablas y las gráficas que muestran el rendimiento del sistema haciendo una comparación nuevamente entre el EO y los métodos de consenso en los que se han generado los valores que pueden resultar de mayor interés debido a que pueden mostrar a manera de resumen el comportamiento general del sistema. Por ejemplo, se ha escogido M1-20 y M1-100 debido a que tienen los valores extremos para M1. Por otro lado, aun cuando para M2 y M3 se ha hecho una división entre unión e intersección en estas gráficas se muestra solo la intersección debido a que representa la parte más restrictiva del experimento. Las tablas y gráficas con la información completa se encuentran en la sección de anexos.

Global Intersección					
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	82,67%	70,00%	0,00%	0,00%	60,00%
Recall	95,00%	48,33%	0,00%	0,00%	35,00%
Accuracy	94,00%	89,00%	86,00%	86,00%	90,00%
Specificity	94,31%	95,54%	100,00%	100,00%	98,95%
MCC	92,15%	75,39%	0,00%	0,00%	60,73%

Tabla 19. Experimento 1. Resultado global - Intersección.

En esta tabla se puede apreciar como para las métricas precision, recall, accuracy y mcc los valores más altos y más cercanos al EO se muestran para los métodos M1-20 y M3-I. Además, para el caso de M1 también se puede observar que hay una disminución muy marcada en los valores de las precision, recall y mcc entre M1-20 y M1-100. Por otra parte, para el caso particular de accuracy los valores en los métodos de consenso son bastante altos, con una diferencia entre el 4% y 8% en comparación con el EO. Finalmente el valor observado en specificity en todos los métodos de consenso resulta más elevado que en el caso del EO.

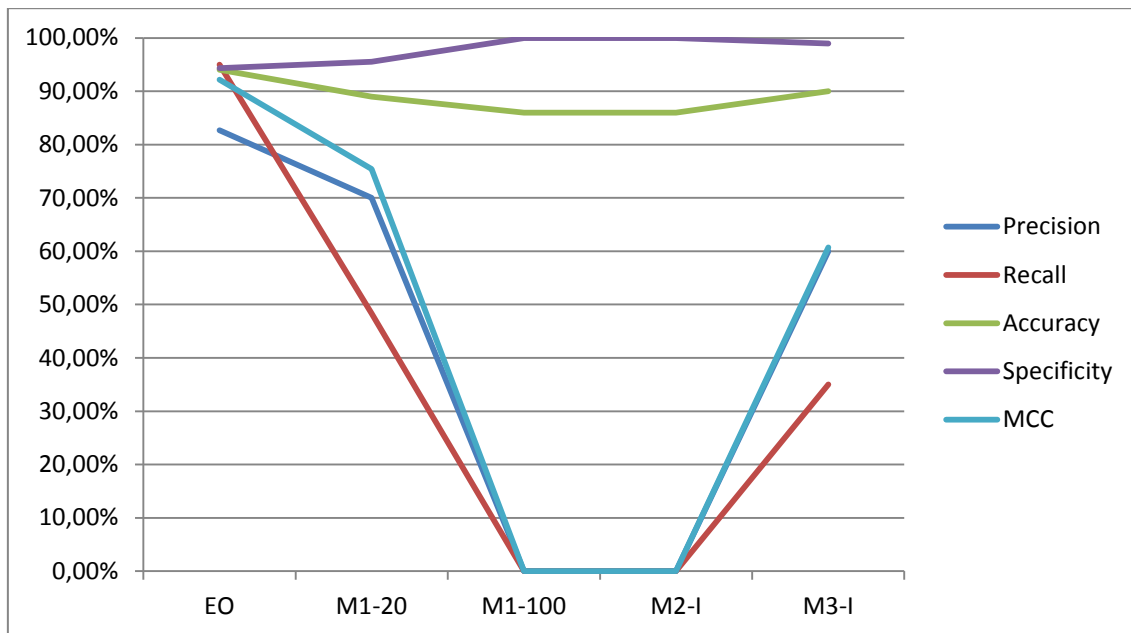


Figura. 38 Experimento 1. Resultado global - Intersección

Esta gráfica refleja los valores del rendimiento global del sistema mostrados en la tabla anterior. De igual forma se puede observar como los valores más altos en las métricas se encuentran en los métodos de consenso situados en los extremos. Esto es debido a que esos métodos de consenso muestran mayores niveles de acuerdo entre los expertos en cuanto al número de indicios. También se aprecia que la métrica specificity es la que se mantiene más constante y con valores más altos que en muchas ocasiones superan a los del EO.

	Global Unión				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	90,00%	75,00%	0,00%	0,00%	60,00%
Recall	84,29%	39,05%	0,00%	0,00%	24,05%
Accuracy	93,00%	86,00%	81,00%	81,00%	85,00%
Specificity	96,47%	96,64%	100,00%	100,00%	98,95%
MCC	91,09%	73,18%	0,00%	0,00%	56,54%

Tabla 20. Experimento 1. Resultado global - Unión.

Esta tabla muestra un resumen de los datos obtenidos a través de la unión de las opiniones de los expertos haciendo una comparación con los datos obtenidos del EO y de los métodos de consenso. Al igual que en el caso anterior, se ha decidido poner los valores más representativos. Las tablas y gráficas completas se muestran en la sección de anexos. De manera similar a como se observó para la tabla con los datos globales para la intersección los valores más altos en las métricas se obtienen de los métodos de consenso situados en los extremos, es decir, M1-20 y M3-I que es donde los consensos tienen mayor cantidad de indicios y donde los expertos han logrado estar de acuerdo en el mayor número de indicios. Es decir, es donde la diferencia Cuantitativa es mayor pero la diferencia Cualitativa es menor.

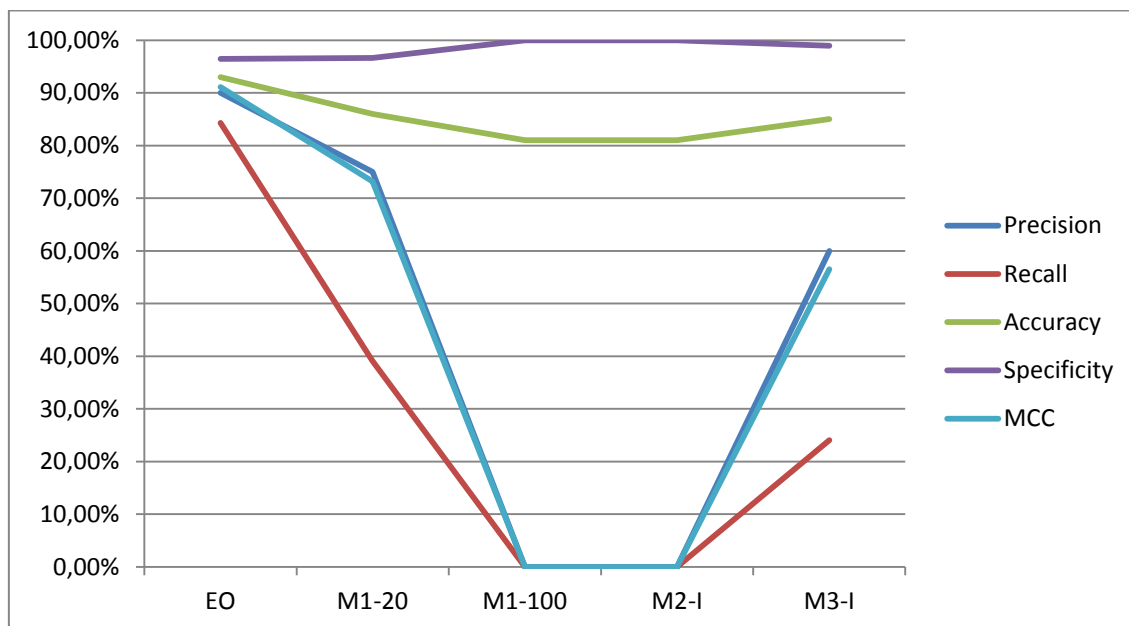


Figura. 39 Experimento 1. Resultado global - Unión

A manera de conclusión se puede decir entonces que los métodos de consenso que generen bases de conocimiento más similares al EO y que además agreguen más indicios ofrecen mejores resultados y que estos resultados se reflejan en las métricas. Además, de manera general, haciendo uso de métodos de consenso tanto a nivel local, enfermedad por enfermedad, como a nivel global la especificidad (specificity) siempre

es mayor en comparación con el EO. En otras palabras, haciendo uso de la inteligencia colaborativa se logra aumentar los niveles de especificidad en comparación con los niveles alcanzados por el estándar de oro, lo que implica un mayor nivel de adecuación del sistema para detectar enfermedades que se estén midiendo.

6.1.2 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 2. (BASE DE CONOCIMIENTO POBLADA)

Para el segundo experimento se han escogido cinco enfermedades, diferentes a las del primer experimento: Asma, Resfriado Común, Pancreatitis, Sinusitis y Tuberculosis.

El criterio de selección de estas enfermedades fue el mismo que el que se aplicó para el primer experimento, es decir, las enfermedades fueron escogidas con base en el número de indicios que se habían definido previamente en la base de conocimiento original, la que se ha tomado como estándar de oro.

La nomenclatura que se utiliza es la misma que se ha utilizado para el primer experimento.

6.1.2.1 MEDICIÓN DE VALORES CUANTITATIVOS PARA EL EXPERIMENTO 2.

A continuación se presentan las tablas con la cantidad de signos/síntomas y pruebas diagnósticas que cada enfermedad en el segundo experimento presentó para cada uno de los métodos de consenso y para el estándar de oro y la diferencia Cuantitativa para cada uno de los casos.

Asma									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/síntomas	15	26	14	10	6	3	15	9	15
Pruebas Diagnósticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Cuantitativa		11	-1	-5	-9	-12	0	-6	0

Tabla 21. Diferencia Cuantitativa Asma

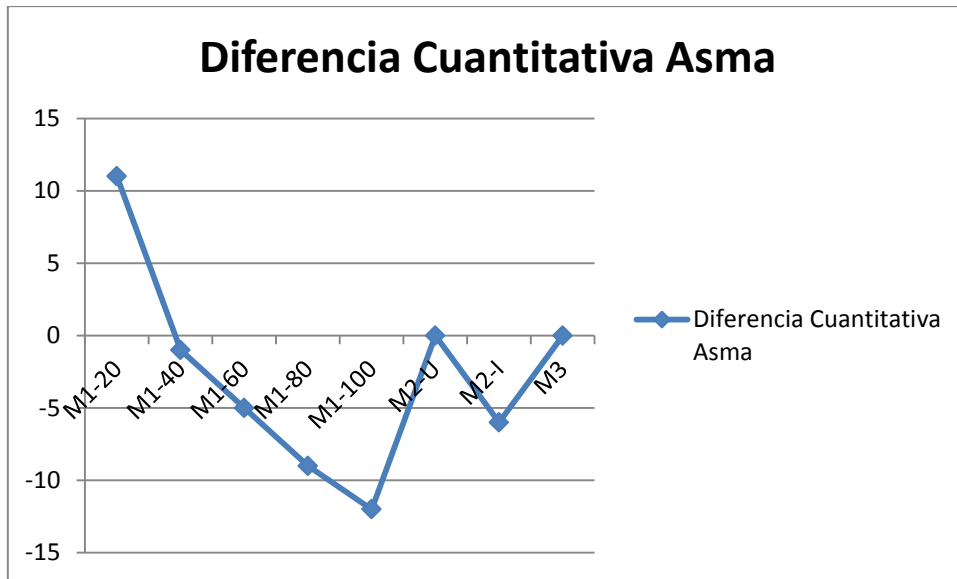


Figura. 40 Diferencia Cuantitativa Asma

Resfriado Común									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/ síntomas	10	14	10	9	9	7	10	9	10
Pruebas Diagnósticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Cuantitativa		4	0	-1	-1	-3	0	-1	0

Tabla 22. Diferencia Cuantitativa Resfriado Común

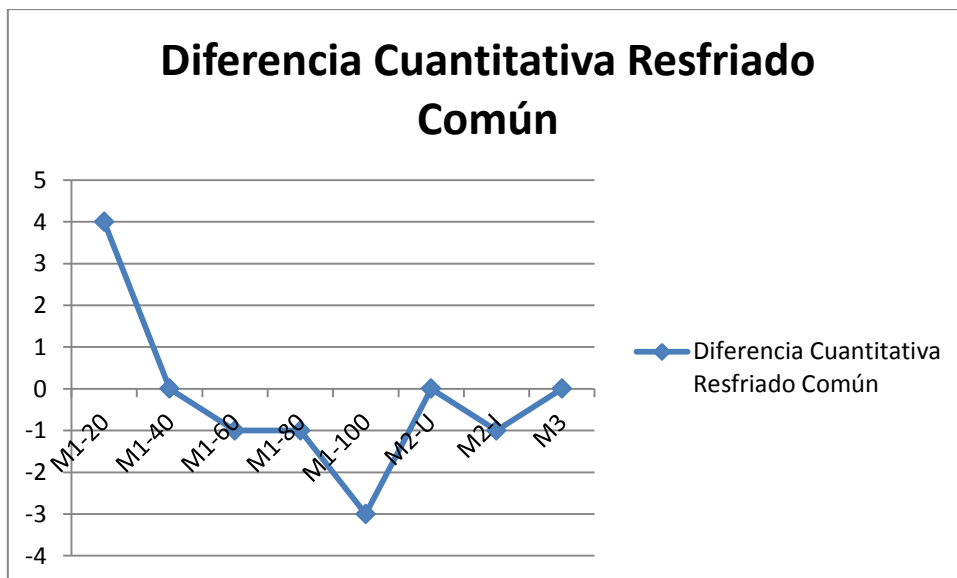


Figura. 41 Diferencia Cuantitativa Resfriado Común

Pancreatitis									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/ síntomas	11	21	10	9	5	4	11	9	11
Pruebas Diagnósticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Cuantitativa		10	-1	-2	-6	-7	0	-2	0

Tabla 23. Diferencia Cuantitativa Pancreatitis

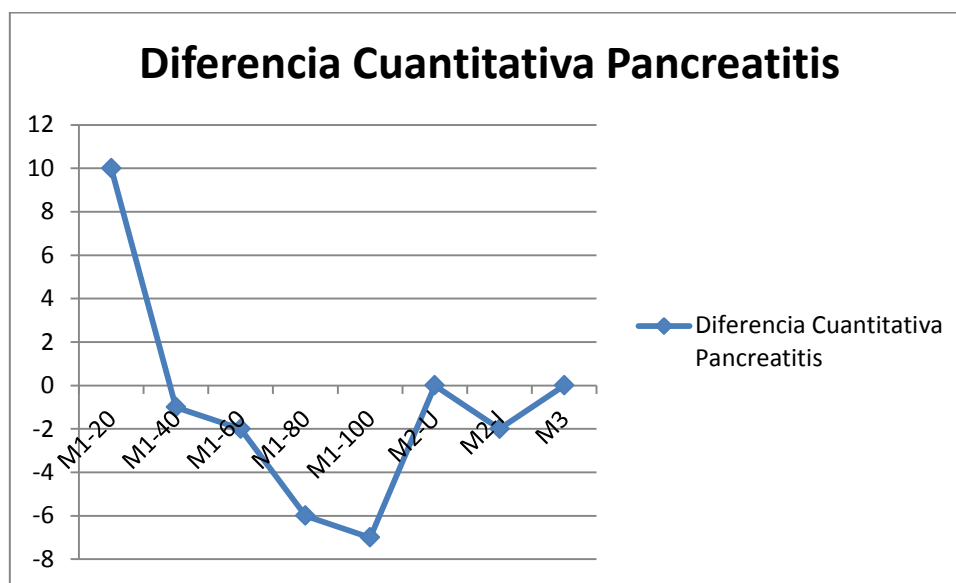


Figura. 42 Diferencia Cuantitativa Pancreatitis

Sinusitis									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/ síntomas	11	15	10	9	8	4	9	9	9
Pruebas Diagnósticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diferencia Cuantitativa		4	-1	-2	-3	-7	-2	-2	-2

Tabla 24. Diferencia Cuantitativa Sinusitis

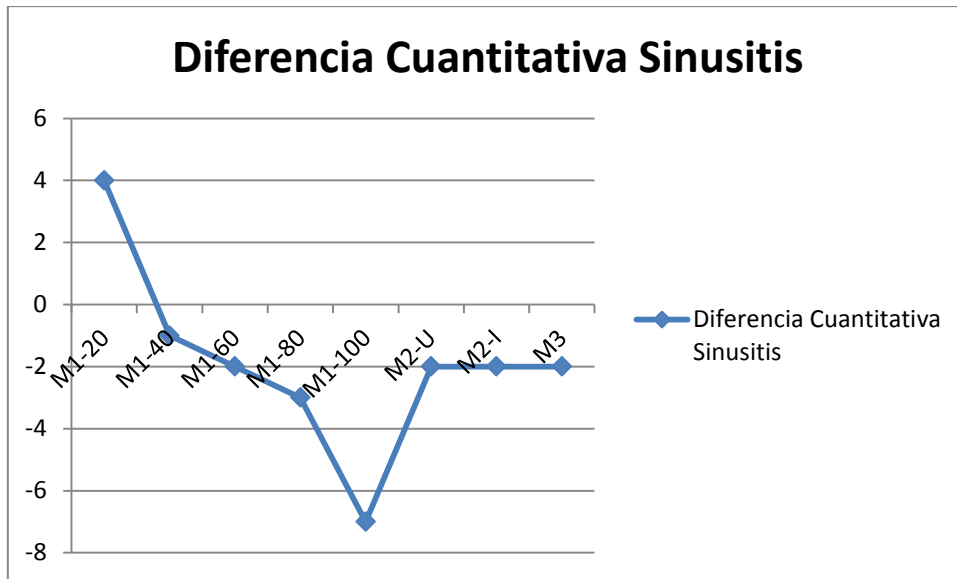


Figura. 43 Diferencia Cuantitativa Sinusitis

Tuberculosis									
	Métodos de consenso								
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100	M2-U	M2-I	M3
Signos/síntomas	21	30	17	15	13	7	19	14	19
Pruebas Diagnósticas	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diferencia Cuantitativa		10	-4	-6	-8	-14	-2	-7	-2

Tabla 25. Diferencia Cuantitativa Tuberculosis

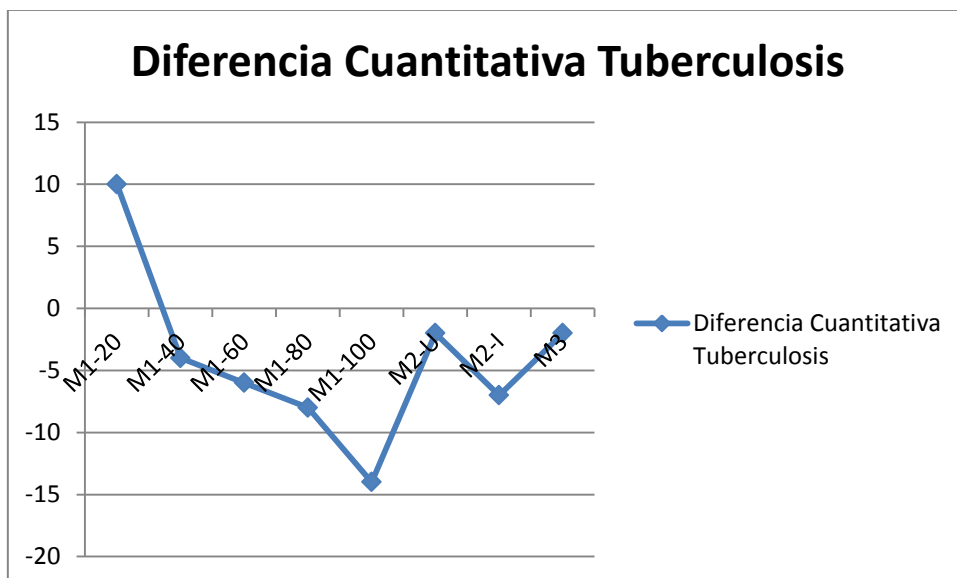


Figura. 44 Diferencia Cuantitativa Tuberculosis

En las tablas y gráficas anteriores se puede observar que para el primer método de consenso el nivel del 20% (M1-20) genera las bases de conocimiento con la mayor

cantidad de indicios, y que esta cantidad de indicios en cada uno de los casos es superior a la cantidad de indicios que se encuentra en la base de conocimientos EO. Además, para este mismo método las diferencias Cuantitativas mayores se encuentran en los extremos, es decir, es en los niveles más alto y más bajo en donde los acuerdos entre los expertos se alejan más al EO y por consecuencia son bases de conocimiento menos similares al EO. Por otra parte, los métodos M2 y M3 muestran niveles de diferencia Cuantitativa bajos que oscilan entre 0 y 2 con valores máximos de 6 y 7.

Es necesario señalar que en este experimento los expertos para hacer el modelado de las enfermedades parten de una base de conocimiento poblada previamente, es por eso que las diferencias Cuantitativas son menores que en el caso del primer experimento en donde los expertos parten de una base de conocimiento no poblada o vacía, lo que se puede interpretar como un mayor grado de similitud con el EO.

6.1.2.2 MEDICIÓN DE VALORES CUALITATIVOS PARA EL EXPERIMENTO 2.

La diferencia Cualitativa nuevamente ha sido calculada para este segundo experimento. En las siguientes tablas se muestran los valores para la cantidad de indicios iguales, es decir, coincidentes con EO y la cantidad de indicios diferentes, es decir, los que no se encuentran en EO, para cada uno de los métodos de consenso. La diferencia que se muestra en estas tablas es la que se ha definido previamente como diferencia Cualitativa y representa la cantidad de indicios que son realmente diferentes en ambas bases de conocimiento para cada una de las enfermedades, por lo que por ejemplo, si ambas enfermedades presentan 10 indicios la diferencia Cuantitativa sería 0, pero si cada una tiene 10 indicios diferentes entonces la diferencia Cualitativa es de 10.

Asma		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	16	10
M1 - 40%	14	0
M1 - 60%	10	0
M1 - 80%	6	0
M1 - 100%	3	0
M2 - U	15	0
M2 - I	9	0
M3	15	0

Tabla 26. Diferencia Cualitativa Asma

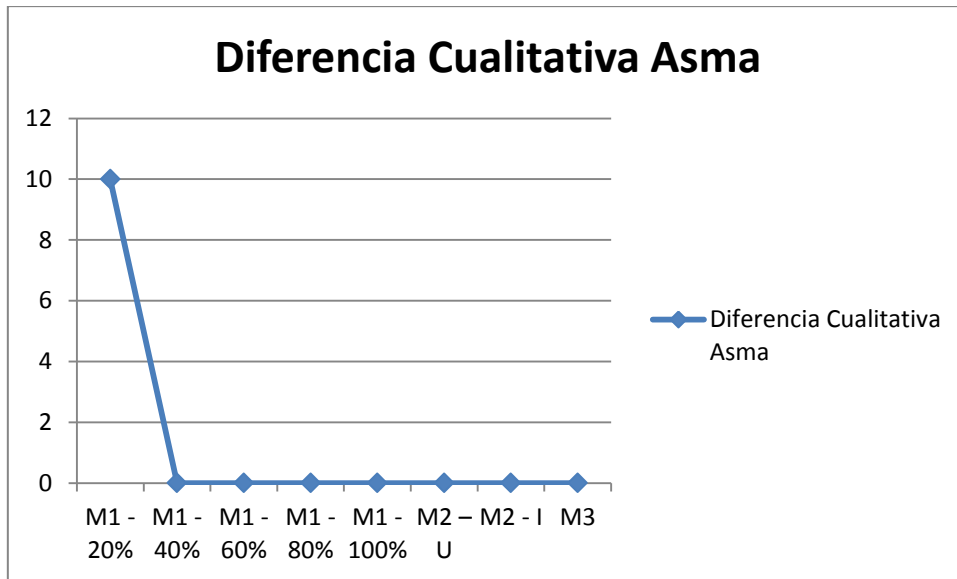


Figura. 45 Diferencia Cualitativa Asma

En la tabla del Asma se puede apreciar que únicamente M1-20% tiene un valor distinto de 0 en cuanto a la diferencia Cualitativa, pero de igual forma la mayor cantidad de indicios iguales en comparación con el EO, sin embargo, dado que el Asma se ha definido con 15 indicios entonces M2-U y M3 tienen mayor grado de similitud con EO al coincidir con esos 15 indicios y no diferir en ninguno.

Resfriado Común		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	10	4
M1 - 40%	10	0
M1 - 60%	9	0
M1 - 80%	9	0
M1 - 100%	7	0
M2 - U	10	0
M2 - I	9	0
M3	10	0

Tabla 27. Diferencia Cualitativa Resfriado Común

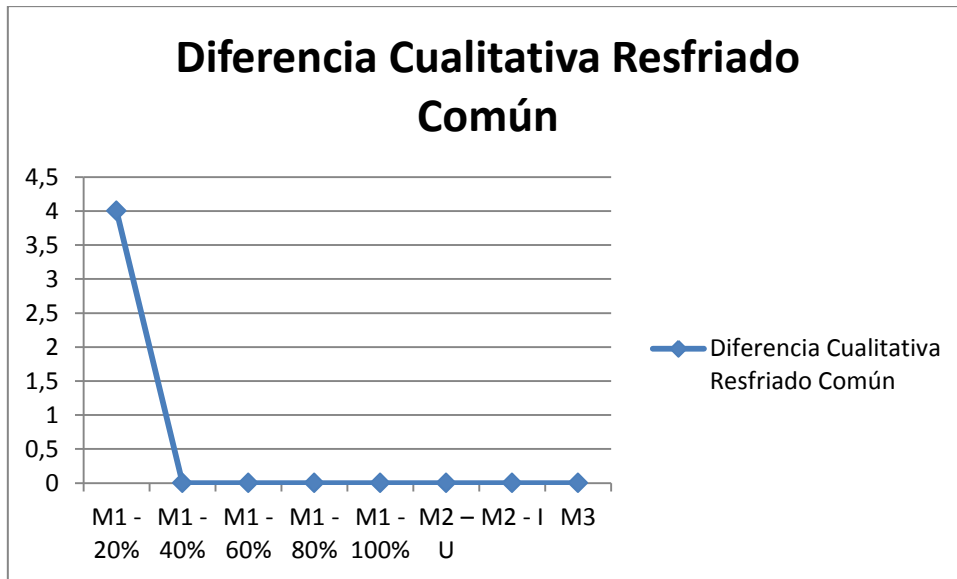


Figura. 46 Diferencia Cualitativa Resfriado Común

El Resfriado Común se ha definido en el EO con 10 indicios. En esta tabla se muestra que M1-20% coincide con esos 10 indicios pero añade 4 más, pero M1-40%, M2-U y M3 contienen esos mismos 10 indicios y no reportan ninguna diferencia, por lo que su similitud con el EO es mayor que en los demás casos. De igual forma se puede ver como la cantidad de indicios iguales se encuentra en un rango entre 7 y 10 por lo tanto existe poca diferencia entre las bases de conocimiento generadas con un método y otro e incluso entre los diferentes niveles del mismo método M1.

Pancreatitis		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	11	10
M1 - 40%	10	0
M1 - 60%	9	0
M1 - 80%	5	0
M1 - 100%	4	0
M2 - U	11	0
M2 - I	9	0
M3	11	0

Tabla 28. Diferencia Cualitativa Pancreatitis

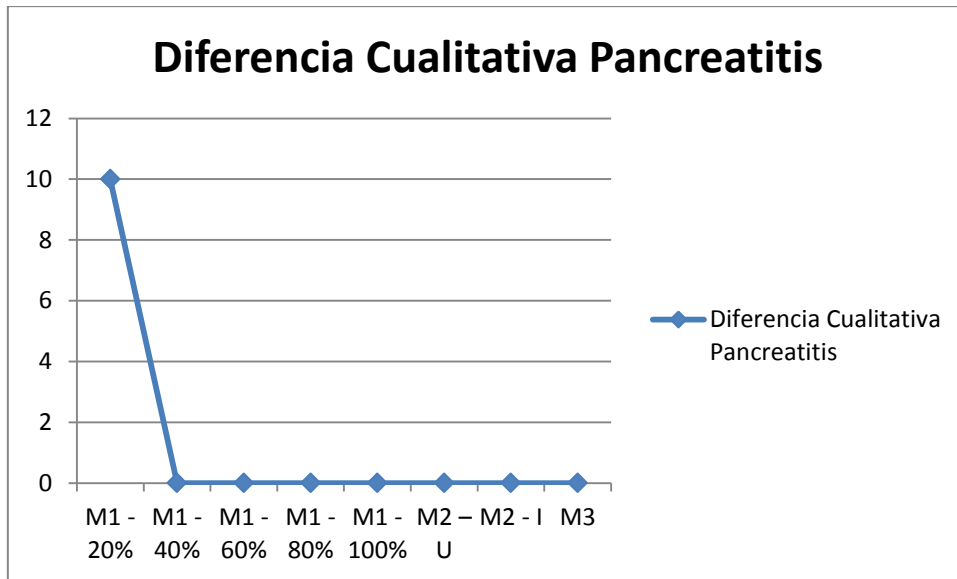


Figura. 47 Diferencia Cualitativa Pancreatitis

La Pancreatitis se ha definido en el EO con 11 indicios por lo que se puede apreciar que en la tabla los consensos que más se han acercado a esta cantidad por el número de indicios son los que se encuentran en los extremos en M1-20% en M2-U y en M3, sin embargo M1-20% muestra una diferencia Cualitativa de 10 indicios y en el resto de los niveles de consenso para M1 al igual que para M2 y M3 la diferencia Cualitativa es nula. Por lo tanto M2-U y M3 muestran mayor grado de similitud con el EO.

Sinusitis		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	10	5
M1 - 40%	9	1
M1 - 60%	9	0
M1 - 80%	8	0
M1 - 100%	4	0
M2 - U	9	0
M2 - I	9	0
M3	9	0

Tabla 29. Diferencia Cualitativa Sinusitis

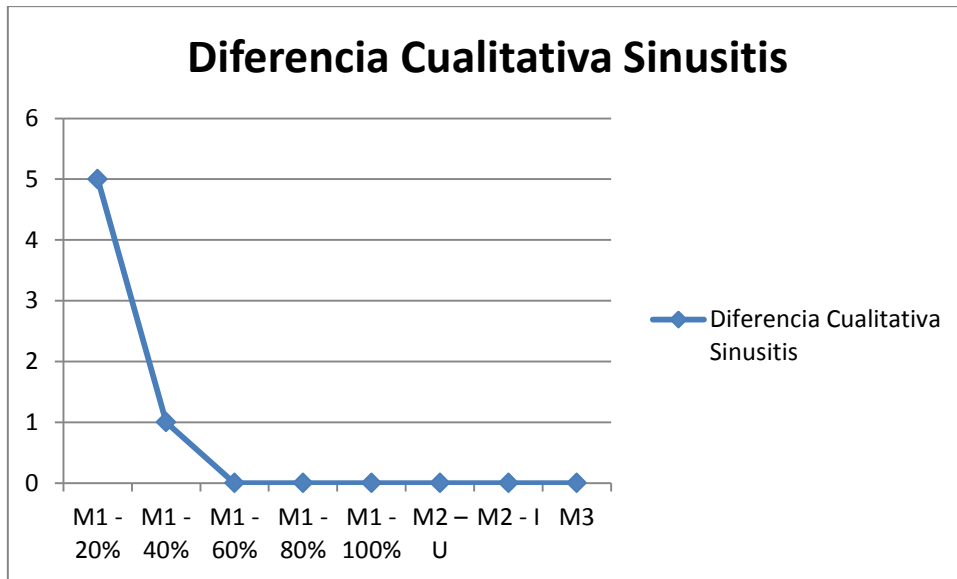


Figura. 48 Diferencia Cualitativa Sinusitis

El caso de la Sinusitis es muy similar a los demás desde el punto de vista que la mayor cantidad de indicios iguales a los que se encuentran en el EO está en M1-20% dado que la Sinusitis se ha definido en el EO con 11 indicios. Ninguno de los consensos logra una cantidad de indicios iguales pero los que más similitud muestran son M1-60%, M2 y M3 dado que la diferencia Cuantitativa es de 2 pero la Cualitativa es de 0.

Tuberculosis		
Consenso	Indicios Iguales	Diferencia Cualitativa
M1 - 20%	21	10
M1 - 40%	18	0
M1 - 60%	16	0
M1 - 80%	14	0
M1 - 100%	8	0
M2 - U	20	0
M2 - I	15	0
M3	20	0

Tabla 30. Diferencia Cualitativa Tuberculosis

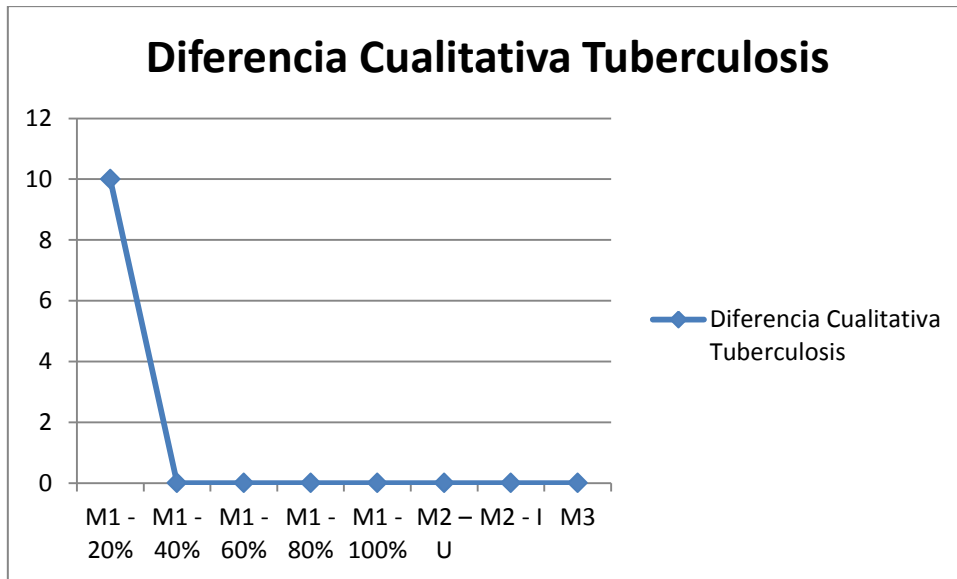


Figura. 49 Diferencia Cualitativa Tuberculosis

La Tuberculosis presenta un comportamiento muy similar a las demás enfermedades reportando un valor de diferencia Cualitativa únicamente en M1-20% aunque también mayor número de indicios iguales. Además, los mayores valores para indicios iguales se encuentran nuevamente en los consensos que se sitúan en la parte más alta y en la parte más baja de la tabla, destacando que existe una diferencia de 13 indicios entre el valor más alto y el más bajo, lo que equivale a indicios que no se han tomado en cuenta al momento de hacer el consenso. Finalmente es M2-U y M3 en donde se puede encontrar mayor similitud con el EO.

A manera de resumen para estas tablas se puede decir que en general muestran mayor grado de similitud con el EO en comparación con el primer experimento, lo cual se puede observar en valores pequeños para la diferencia Cuantitativa y en la mayoría de los casos valores nulos para la diferencia Cualitativa. Además se puede observar también que el rango de indicios iguales se acerca más al número de indicios con los que cada una de las enfermedades se ha definido en el EO.

A continuación se presentan las tablas resumen junto con sus gráficas para cada enfermedad correspondiente al experimento 2. En estas tablas se muestran los consensos que arrojaron los valores que se han considerado como los más representativos en las métricas por mostrar el comportamiento general del experimento. Las tablas completas con todos los datos de los consensos se muestran en la sección de anexos.

	Asma				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	95,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%

Tabla 31. Resultado resumen Asma

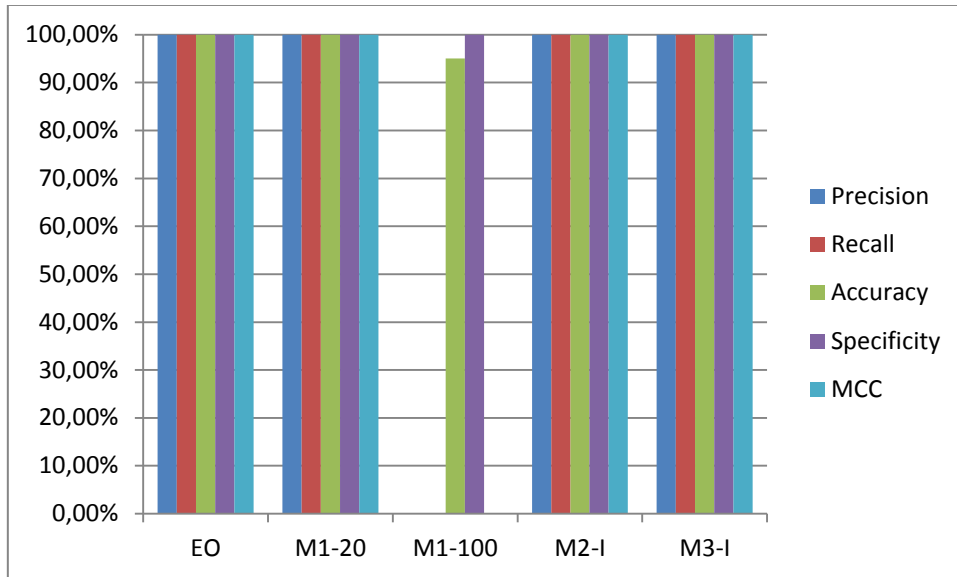


Figura. 50 Resultado resumen Asma

El Asma presenta valores máximos para todas las métricas en el EO, valores que logran ser igualados por todos los métodos de consenso a excepción de M1-100 que muestra valores mínimos para precisión, recall y MCC. Para el caso de accuracy todos los métodos de consenso muestran valores bastante altos observándose solamente una diferencia del 5% para el caso de M1-100. Por otra parte specificity es la única métrica donde todos los métodos de consenso alcanzan el valor máximo, con lo cual logran alcanzar al valor del EO en esa misma métrica.

	Resfriado Común				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	66,67%	66,67%	100,00%	66,67%	66,67%
Recall	100,00%	100,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
Specificity	94,44%	94,44%	100,00%	94,44%	94,44%
MCC	89,67%	89,67%	84,41%	89,67%	89,67%

Tabla 32. Resultado resumen Resfriado Común

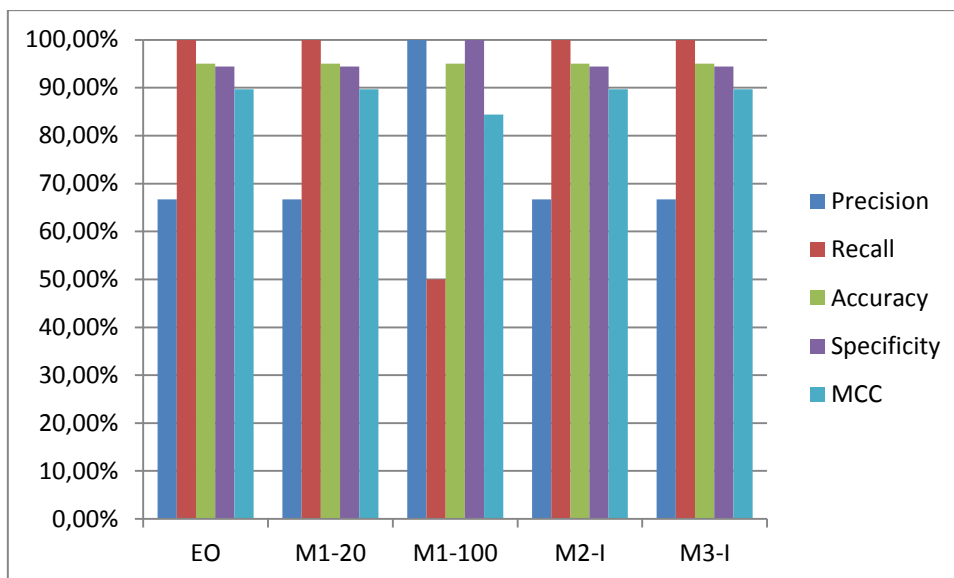


Figura. 51 Resultado resumen Resfriado Común

Los métodos de consenso en la tabla del Resfriado Común en la mayoría de los casos al menos logran alcanzar los valores obtenidos por el EO. Por ejemplo, se puede observar que para el caso de precision 3 de los 4 métodos de consenso logran igualar el valor del EO pero además M1-100 logra superar ese valor por un margen de 33,33%. El mismo caso se repite para specificity, en donde M1-100 mejora al EO. Por otra parte, en el caso de recall y MCC M1-100 es el único método de consenso que no logra alcanzar el valor generado por el EO. Finalmente, la métrica accuracy comparte los mismos valores para los métodos de consenso y para EO, es decir, los consensos nuevamente alcanzan los el grado de accuracy que muestra el EO.

	Pancreatitis				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	95,00%	95,00%	100,00%	95,00%	95,00%
Specificity	95,00%	95,00%	100,00%	95,00%	95,00%
MCC					

Tabla 33. Resultado resumen Pancreatitis

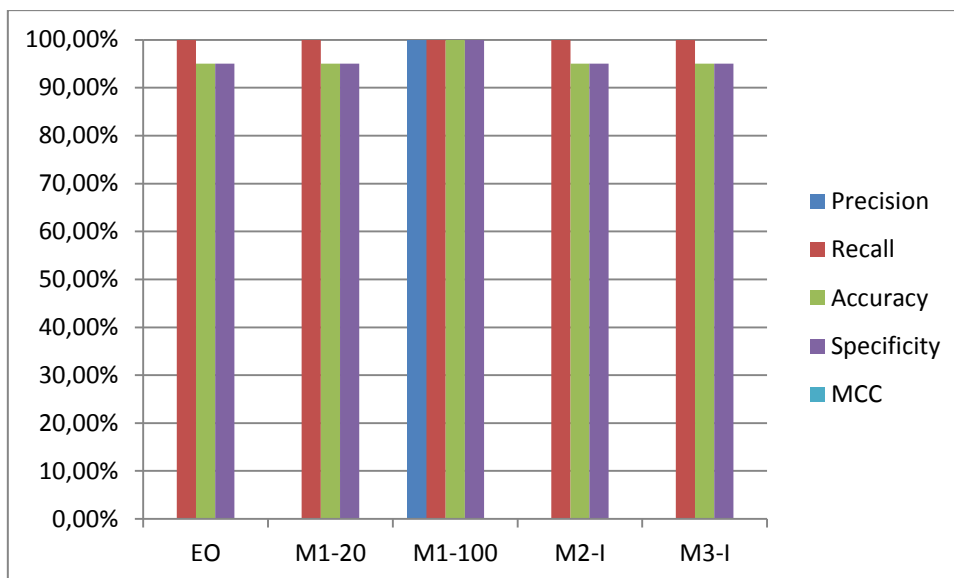


Figura. 52 Resultado resumen Pancreatitis

La Pancreatitis muestra en su tabla los valores más altos en M1-100. Para el caso se recalca se observa que todos los métodos de consenso alcanzan su valor máximo igualando al EO. M1-100 supera en un 5% al valor de accuracy que muestra el EO mientras que los demás métodos de consenso al menos alcanzan el mismo valor del 95%. Un caso similar ocurre con specificity. En general esta tabla muestra valores bastante altos en donde en la mayoría de los casos iguala a los valores del EO y en otros casos logra superarlos.

Sinusitis					
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	100,00%	66,67%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	90,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	94,44%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	89,67%	0,00%	100,00%	100,00%

Tabla 34. Resultado resumen Sinusitis

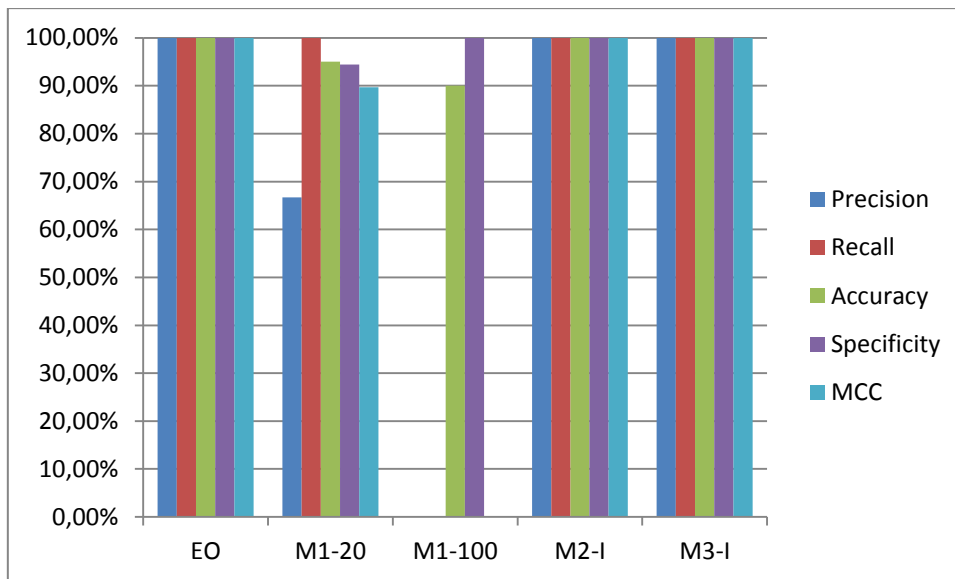


Figura. 53 Resultado resumen Sinusitis

La tabla de la sinusitis muestra los valores más altos en los consensos M2-I y M3-I. Estos valores igualan los valores de las métricas alcanzados por el EO. Además, 3 de los 4 consensos mostradas en la tabla logran igualar el nivel de recall del EO. Así mismo, 3 de los 4 consensos logran igualar el nivel de specificity del 100% y el único que no logra alcanzar este nivel muestra una diferencia mínima del 5,56%. Otro dato interesante es que los valores más bajos se encuentran se encuentran en el consenso M1-100. Para el caso de accuracy, las diferencias entre los valores mínimos de los consensos y el estándar de oro en un rango que va del 5% al 10%,

	Tuberculosis				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	100,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	95,00%	100,00%	95,00%	95,00%
MCC					

Tabla 35. Resultado resumen Tuberculosis

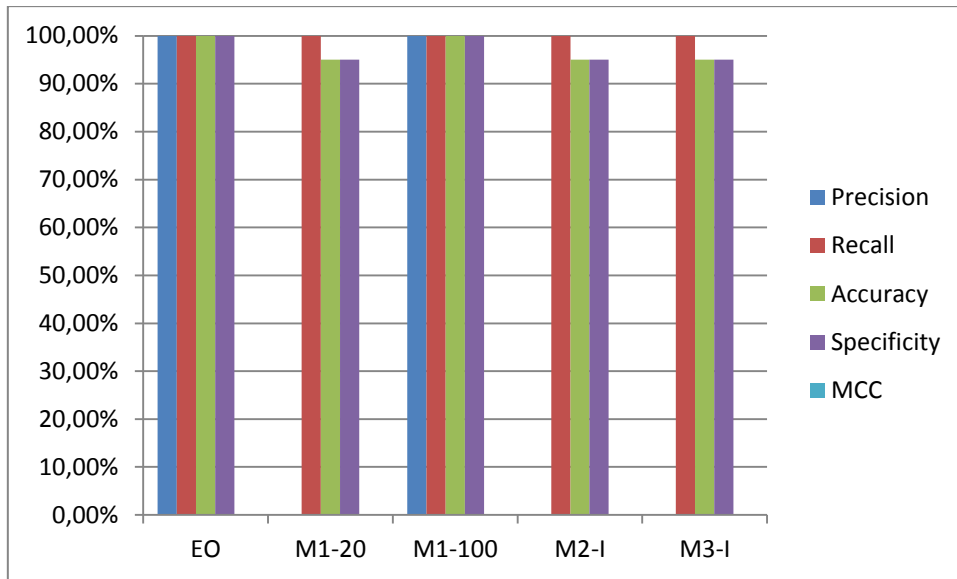


Figura. 54 Resultado resumen Tuberculosis

La Tuberculosis muestra en su tabla en la mayoría de los casos valores suficientemente altos para casi todas las métricas, valores que difieren del EO en apenas el 5%. El consenso M1-100 es el que en todo momento iguala los valores de EO. Para el caso de recall todos los métodos de consenso logran alcanzar el valor establecido por el EO.

A continuación se presentan las tablas y las gráficas que muestran el rendimiento y comportamiento del sistema estableciendo una comparación nuevamente entre el EO y los métodos de consenso utilizados para las tablas y las gráficas anteriores. Estos métodos de consenso se han escogido por considerar que muestran los valores más representativos de comportamiento del sistema y por consecuencia los que resultan de mayor interés. Por ejemplo, se ha escogido M1-20 y M1-100 debido a que tienen los valores extremos para M1. Por otro lado, aun cuando para M2 y M3 se ha hecho una división entre unión e intersección en estas gráficas se muestra solo la intersección debido a que representa la parte más restrictiva del experimento. Las tablas y gráficas con la información completa se encuentran en la sección de anexos.

La primera tabla que se muestra es la tabla Global Intersección. Esta tabla muestra un resumen de los valores medios obtenidos tanto para el EO como para los métodos de consenso a través de la intersección, es decir, cuando los expertos han coincidido totalmente con los indicios, lo cual hace más restrictivo el estudio.

	Global Intersección				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	73,33%	46,67%	60,00%	53,33%	53,33%
Recall	100,00%	100,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	98,00%	96,00%	96,00%	97,00%	97,00%
Specificity	97,89%	95,78%	100,00%	96,89%	96,89%
MCC	96,56%	93,12%	28,14%	96,56%	96,56%

Tabla 36. Experimento 2. Resultado global - Intersección

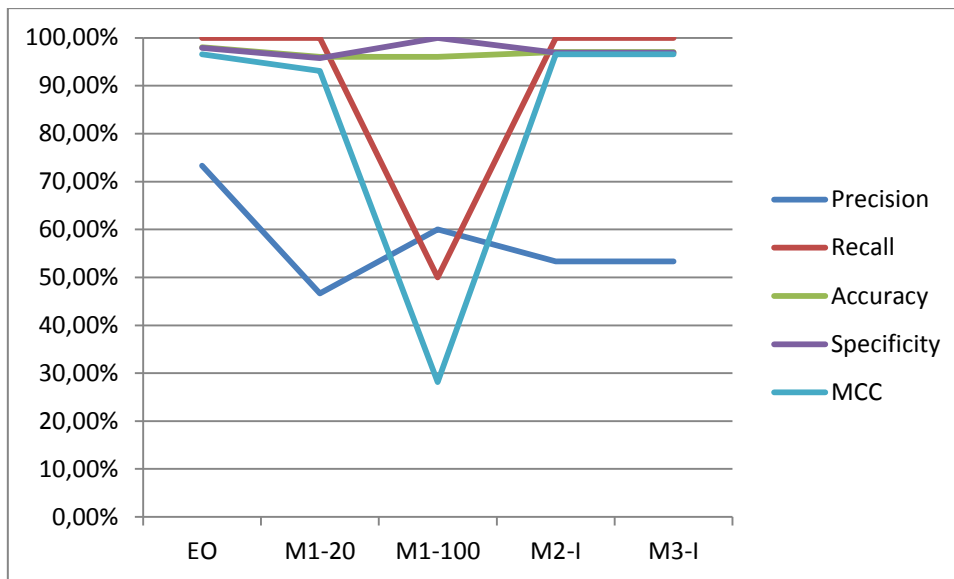


Figura. 55 Experimento 2. Resultado global - Intersección

En la tabla y gráfica anterior se puede apreciar que el sistema de forma global se comporta mejor en los extremos, es decir, quiere los mayores valores para cada una de las métricas cuando el sistema trabaja con las bases de conocimiento M1-20 y M3-1. Esto se debe a dos factores fundamentales, el primero es la cantidad de indicios que se generan en cada uno de los métodos de consenso. Por ejemplo, M1-20 es el método de consenso en donde existe la mayor cantidad de indicios, y en la mayoría de los casos esta cantidad de indicios supera a los que contiene la base de conocimientos del EO. Otro factor importante es la diferencia Cualitativa. Se puede ver en la gráfica que M3 muestra valores altos para la mayoría de las métricas y esto se debe a que es el método de consenso que menor diferencia Cualitativa muestra en comparación con el EO.

Por otra parte, valores altos para diferencia Cualitativa y bajos para número de indicios son los que se muestran en M1-100. Esto se puede interpretar como que es aquí donde el sistema tiene menos datos para evaluar pero que además los datos difieren en gran medida con los datos establecidos por el EO.

La métrica cuyo valor se mantiene más estable es specificity, y esta estabilidad la logra con valores altos que cuando no alcanzan el 100% muestran una diferencia muy pequeña. De aquí se puede deducir que esta métrica no guarda ninguna relación con la cantidad de indicios o con los niveles de diferencias Cuantitativas o Cualitativas encontradas entre el EO y los métodos de consenso. Specificity mide la porción de negativo que se han identificado correctamente como tal.

Otra de las métricas que se mantiene con valores constantes o que al menos tienen poca variación y en donde los valores también son muy cercanos al 100% es accuracy. Los valores en esta métrica indica el grado de proximidad con los valores reales o verdaderos.

En la segunda tabla llamada Global Unión se muestra un resumen de los valores medios obtenidos tanto para el EO como para los métodos de consenso a través de la unión, es decir, de la suma de las opiniones de los expertos.

	Global Unión				
	EO	M1-20	M1-100	M2-I	M3-I
Precision	100,00%	73,33%	40,00%	80,00%	80,00%
Recall	100,00%	100,00%	26,67%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	98,00%	94,00%	99,00%	99,00%
Specificity	100,00%	97,89%	100,00%	99,00%	99,00%
MCC	100,00%	97,42%	19,33%	100,00%	100,00%

Tabla 37. Experimento 2. Resultado global - Unión

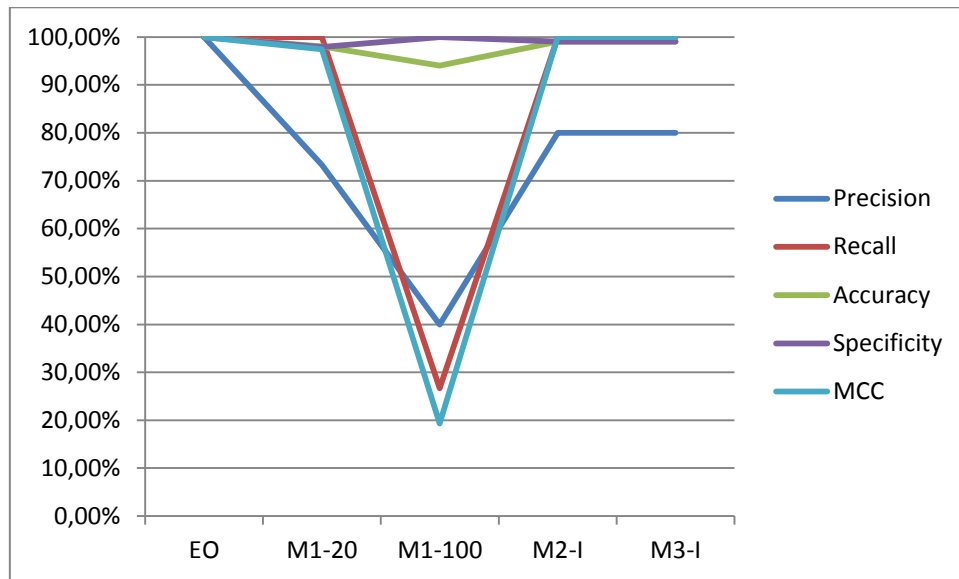


Figura. 56 Experimento 2. Resultado global - Unión

En esta segunda tabla global se puede observar nuevamente que las métricas alcanzan los mayores valores en los métodos de consenso que se sitúan en los extremos (M1-20 y M3-I). De nuevo se puede establecer una relación entre el número de indicios, la diferencia Cualitativa y el valor de las métricas, de forma que aquellos métodos de consenso con mayor número de indicios y con menor grado de diferencia Cualitativa son los que generan los mejores valores.

De igual forma, accuracy y specificity son las métricas que además de mantener sus valores en un rango reducido estos valores son altos y muy cercanos al 100% para el caso de todos los métodos de consenso.

A manera de resumen se puede decir que en comparación con el EO los métodos de consenso muestran similitudes en las métricas, de donde se puede destacar el comportamiento de dos métricas en particular, accuracy y specificity. El hecho de que estas métricas muestren valores constantes altos se interpreta como que tienen independencia con el número de indicios, sin embargo las otras métricas muestran valores más altos mientras mayor sea la cantidad de indicios. Por otra parte, respetando las definiciones de accuracy y specificity y al apreciar en las tablas y en las gráficas que las bases de conocimiento generadas a partir de la inteligencia colaborativa logran valores altos equiparables con el EO, se puede afirmar que por medio de la inteligencia

colaborativa el sistema logra identificar de forma correcta los valores verdaderos y rechazar, también de forma correcta los valores falsos.

6.2 COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

La validación estará enfocada a la comprobación de las tres hipótesis definidas. Para ello se tendrá que hacer la comparación previamente mencionada y determinar finalmente si la IC logra representar o no una mejora en los niveles de exactitud de los diagnósticos médicos, además de definir cuál de los niveles de consenso logra alcanzar mayores niveles de exactitud, así como con qué tipo de base de conocimiento (poblada o no poblada)

Tras haber realizado los experimentos y haber obtenido los resultados en esta sección se presenta la validación de las hipótesis.

Hipótesis H1: *La aplicación de la Inteligencia Colaborativa (IC) en un entorno ya estructurado puede alcanzar niveles de exactitud tan altos como los proporcionados por un sistema de diagnóstico médico tradicional, basado en un conocimiento presuntamente individual.*

La verificación de esta hipótesis se ha llevado cabo mediante la ejecución de diversos métodos de consenso.

Como se ha visto y demostrado con las tablas y las gráficas, en el primer experimento, cuando se parte de una base de conocimiento no poblada, los expertos han tenido un margen más amplio de participación, lo cual se ha reflejado en la cantidad de modificaciones que han realizado a las bases de conocimiento, lo cual a su vez se puede medir por el número de indicios que se encuentran en cada una de las enfermedades. Para este primer experimento, esta cantidad de indicios ha generado valores de diferencia cuantitativa y diferencia cualitativa altos, sobre todo para aquellos niveles de consenso bajos correspondientes al primer método de consenso. Esto genera que al hacer la evaluación y obtener los valores de las métricas del sistema se generen valores altos principalmente para las métricas de accuracy y specificity. Para estas dos métricas los valores generados por la IC logran al menos alcanzar los ya ofrecidos por el estándar de oro. Un caso similar ocurre cuando el sistema ha sido evaluado con el segundo y el tercer métodos de consenso.

De la misma forma, basándose en las observaciones de los valores en las tablas correspondientes el segundo experimento, en donde se ha partido de una base de conocimiento poblada, los expertos han demostrado menor participación en comparación con el primer experimento. Esto se interpreta como que los expertos han dicho estar de acuerdo con la mayoría de los indicios encontrados en la base de conocimiento que se ha seleccionado como estándar de oro. Sin embargo, en los niveles más bajos de consenso para el caso del primer método es posible apreciar una mayor participación en comparación con los otros dos métodos de consenso, lo cual se refleja

en los valores más altos para la diferencia cuantitativa y diferencia cualitativa. Lo mismo ocurre para el segundo y tercer método en donde las bases de conocimiento generadas por los expertos tienen mayor número de indicios, aunque estas presentan la ventaja de tener menor diferencia cuantitativa y cualitativa, es decir, se acercan más al estándar de oro. Esto provoca que al hacer la evaluación y obtener los valores de las métricas estos sean muy similares a los del estándar de oro. De estas métricas nuevamente se puede destacar el caso de accuracy y specificity que son las métricas en donde la inteligencia colaborativa genera valores más altos y a la vez más constantes.

Como se ha mencionado previamente, la métrica accuracy se refiere a el grado de cercanía que ofrece el sistema con respecto a los valores correctos, en otras palabras, qué tanto el sistema logra acercarse a la verdad o a lo cierto. Por otro lado, la métrica specificity es una medida de clasificación binaria que en este caso representa la porción de negativos que son correctamente identificados por el sistema.

Dado que para estas dos métricas se obtienen valores altos, constantes y equiparables con el estándar de oro, esto se ha interpretado como que el sistema, por medio de la inteligencia colaborativa muestra un alto grado de cercanía con los valores ciertos o correctos, pero también un alto grado de efectividad al rechazar los que son falsos o incorrectos. Por lo tanto, la hipótesis H1 se comprueba.

Hipótesis H2: *El uso de IC puede incrementar la cantidad de indicios relacionados con cada enfermedad, sin embargo este incremento no guarda una relación directa con el nivel de exactitud alcanzada por el sistema de diagnóstico médico.*

Con base en las tablas presentadas en la sección anterior se puede observar que para el primer experimento, en el cual se parte de una base de conocimiento vacía, en los tres métodos de consenso se observan situaciones similares. En general, un aumento en la cantidad de indicios en comparación con el estándar de oro. Para el caso particular del primer experimento, esta cantidad de indicios es mayor en los niveles bajos, entre el 20% y el 40%. Esto finalmente se refleja en los valores de diferencia cuantitativa y diferencia cualitativa mostrados anteriormente.

En el caso del segundo experimento, en donde se parte de una base de conocimiento poblada, la situación se repite, en el sentido en que los tres métodos de consenso aplicados muestran un incremento en los indicios. En el caso particular del primer método de consenso se ha observado que el nivel más bajo de consenso muestra una gran cantidad de indicios iguales con respecto al estándar de oro, pero de la misma forma muestra un gran número de indicios diferentes, es decir, indicios nuevos, por lo que se puede afirmar que la IC aporta conocimiento nuevo relativo al estándar de oro.

Con esto se logra demostrar la primera parte de esta hipótesis, en donde se puede afirmar que la inteligencia colaborativa efectivamente logra aumentar la cantidad de indicios relacionados con cada enfermedad, y esto es aún mayor cuando se trata de

niveles de consenso bajos y más aún cuando se parte de una base de conocimiento vacía.

Si bien se ha comprobado que la inteligencia colaborativa logra aumentar el número de indicios de la base de conocimiento de cada enfermedad, con base en las tablas presentadas, se puede ver, los valores para las métricas generalmente disminuye conforme los niveles de consenso disminuyen, sin embargo no se puede establecer una relación directa entre la cantidad de indicios y los valores de las métricas. Esto es que las diferencias en la cantidad de indicios no se corresponden con la diferencia en los valores de las métricas, por lo tanto no es posible establecer una relación directa entre la cantidad de indicios y los valores de las métricas, Por lo tanto, la hipótesis H2 se comprueba.

Hipótesis H3: *Al utilizar una base de conocimiento poblada se logran alcanzar mayores niveles de acuerdo entre los médicos que al utilizar una base de conocimientos no poblada en donde los médicos no parten de un conocimiento base.*

La comprobación de esta hipótesis también se puede obtener con base en los datos de las diferencias Cualitativas. Como se ha podido observar en las tablas anteriores, el primer experimento muestra valores bastante mayores de diferencia Cualitativa que el segundo experimento. Estas diferencias Cualitativas representan la cantidad de indicios nuevos que se han incluido en la base de conocimiento de cada una de las enfermedades. Por ejemplo, en el primer experimento, la enfermedad que mayor diferencia Cualitativa tiene es la Meningitis con un valor de 57 indicios en M1-20. Este valor va decreciendo conforme el nivel de consenso aumenta, pero solamente la Meningitis y le Neumonía presentan en algún momento un valor nulo como diferencia Cualitativa. Los otros dos métodos de consenso tienen valores que van en un rango entre 1 y 37.

En el segundo experimento, prácticamente solo el primer método de consenso en M1-20 presenta valor en diferencia Cualitativa, en todos los demás niveles de ese primer método y los métodos segundo y tercero muestran un valor de cero. Esta diferencia se puede interpretar como qué tan de acuerdo están los expertos, por lo que una diferencia de cero equivale a que los expertos están totalmente de acuerdo con la base de conocimiento y por lo tanto no han hecho modificaciones.

En el primer experimento, al presentarles a los expertos una base de conocimiento vacía, no se les da un parámetro de referencia o comparación, por lo cual la participación ha sido mayor, reflejada en los valores de ambas diferencias. Finalmente, el hecho de que los valores de estas diferencias sean mayores para el primer experimento que para el segundo indica que hay un mayor nivel de acuerdo entre los expertos cuando se les da de inicio una base de conocimiento poblada. Con esto se comprueba la tercera hipótesis.

7. CONCLUSIONES.

La conclusión a la que se ha llegado es que la Inteligencia Colaborativa representa una gran ventaja para los sistemas de soporte a la decisión médica, dado que, en la mayoría de los casos, estos sistemas obtienen su información de bases de conocimiento que son alimentadas o pobladas a partir del conocimiento que se encuentra en la literatura. Con esta investigación se ha demostrado entonces que la Inteligencia Colaborativa logra alcanzar niveles de exactitud tan buenos y en algunos casos mejores que los sistemas de soporte a la decisión médica tradicionales. Esto también aporta la ventaja que al utilizar Inteligencia Colaborativa, las bases de conocimiento se vuelven mucho más dinámicas, lo que permite mantenerlas actualizadas de forma más fácil y constante.

Por otra parte, el uso de terminologías aceptadas de forma estándar como es el caso de SNOMED-CT ofrece la ventaja de que, a pesar de que existe la participación de múltiples expertos, no se tienen problemas de ambigüedad ya que no se les permite introducir a la base de conocimientos, términos que no estén previamente aceptados.

Otra de las ventajas de la Inteligencia Colaborativa aplicada a sistemas médicos es que permite dotar de más información a los mismos, con lo que estos sistemas pueden ofrecer cada vez mejores resultados. Por otra parte, se ha visto que cuando se trabaja con bases de conocimiento no pobladas la participación de los médicos es aún mayor que cuando se parte de una base de conocimientos poblada, pero que con las bases de conocimiento pobladas se pueden alcanzar mayores niveles de acuerdo. Partiendo de esto se puede concluir que si se parte de una base de conocimiento no poblada se asegura una mayor participación de los expertos, y una vez que esta base de conocimiento ya esté poblada, se asegura un mayor nivel de acuerdo, con lo que finalmente se alcanzará un mayor nivel de acuerdo de los expertos con un mayor número de indicios.

Finalmente, con esta investigación se demuestra la gran utilidad que la Inteligencia Colaborativa supone para el área médica cuando se trabaja con un entorno estructurado y controlado, dado que provee de dinamismo y facilidad a los procesos de obtención, compartición y actualización de conocimiento, y que este conocimiento alcance niveles tan elevados de accuracy y specificity como el conocimiento que se encuentra en la literatura pero de forma mucho más rápida.

CONCLUSIONS

The conclusion reached is that the Collaborative Intelligence represents a great advantage for the clinical decision support systems, since in most cases these systems get their information from knowledge bases that are fed or populated from the knowledge that found in the literature. This research has shown that the Collaborative Intelligence achieve accuracy levels as good and in some cases better than the traditional MDSS. This also has the advantage that by using Collaborative Intelligence, knowledge bases become much more dynamic, allowing keep up dated more easily and consistently.

Moreover, using a standard accepted terminology such as SNOMED-CT has the advantage that, although there is involvement of multiple experts, this does not causes ambiguity problems because they are allowed to enter in the knowledge base, terms that are not previously accepted.

Another advantage of the Collaborative Intelligence applied to medical systems is that it allows providing them more information, so that these systems can provide increasingly better results. Moreover, when working with non-populated knowledge bases the physicians' participation is even greater than when using a populated knowledge base, but that populated knowledge bases can achieve higher levels of agreement. From this, the conclusion is that if we start from a knowledge base unpopulated ensures greater participation of experts, and once this knowledge base is already populated, ensures a higher level of agreement, which finally will reach a higher level of experts' agreement.

Finally, this research demonstrates the value that the Collaborative Intelligence represents for the medical field when it works with a structured and controlled environment, since it provides dynamic and eases the process of obtaining, sharing and updating of knowledge, and that this knowledge reaches such high levels of accuracy and specificity as the knowledge found in the literature, but much faster.

8. TRABAJO FUTURO.

Como trabajo a futuro lo que se plantea es aplicar estos métodos de consenso y en general la metodología aplicada para esta investigación en otras áreas de la medicina. Es decir, para esta investigación el contenido de las bases de conocimiento es relativo a enfermedades consideradas de como de medicina general, por lo que parte del trabajo a futuro es aplicar este estudio a enfermedades que pertenezcan a alguna especialidad.

Por otra parte, a lo largo de esta investigación, se ha encontrado que las redes sociales y la medicina se encuentran vinculadas en gran parte a través de la educación, en caos en donde, a través de plataforma de colaboración, estudiantes de medicina y profesores, evalúan casos clínico, debaten y llegan a conclusiones y acuerdos. Por lo tanto se considera que esta investigación tiene una línea de trabajo futuro en esa área.

De igual forma, es posible utilizar esta misma tecnología al combinar los entornos colaborativos y la medicina en donde, a través de este tipo de plataformas se les proporcione a los estudiantes de medicina una serie de casos que tengan que resolver, pero en donde la calificación estará basada no solamente en el criterio de un experto sino de un conjunto de expertos y soportada o respaldada por un sistema de soporte a la decisión clínica.

Por último, esta tecnología no es exclusiva del área médica. Existen múltiples bases de conocimiento de diferentes áreas que se podrían ver beneficiadas con este tipo de estudios.

9. REFERENCIAS

- Alag, S. (2009). *Collective intelligence in action*. New York: Manning.
- Asbeh, N., Peleg, M., Schertz, M., & Kuflik, T. (2006). Creating Consistent Diagnoses List for Developmental Disorders Using UMLS. In Etzion, O., Kuflik, T., & Motro, A. (Eds.), *Next Generation Information Technologies and Systems* (pp. 333–336). Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/11780991_29
- Ashburner, M., Ball, C. A., Blake, J. A., Botstein, D., Butler, H., Cherry, J. M., ... Sherlock, G. (2000). Gene Ontology: tool for the unification of biology. *Nature Genetics*, 25(1), 25–29. doi:10.1038/75556
- Baldi, P., Brunak, S., Chauvin, Y., Andersen, C. A. F., & Nielsen, H. (2000). Assessing the accuracy of prediction algorithms for classification: an overview. *Bioinformatics*, 16(5), 412–424. doi:10.1093/bioinformatics/16.5.412
- Barnett, G. O., Cimino, J. J., Hupp, J. A., & Hoffer, E. P. (1987). Dxpain: An evolving diagnostic decision-support system. *JAMA*, 258(1), 67–74. doi:10.1001/jama.1987.03400010071030
- Barsky, E. (2006). Introducing Web 2.0: RSS trends for health librarians. *Journal of the Canadian Health Libraries Association*, 27(1), 7–8.
- Berner, E. S. (2007). *Clinical decision support systems: theory and practice*. Springer.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The Semantic Web. *Scientific american*, 5, 28–37.
- Bonabeau, E. (2009). Decisions 2.0: the power of collective intelligence. *MIT Sloan management review*, 50(2), 45–52.

- Corcho, O., Fernández-López, M., & Gómez-Pérez, A. (2003). Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering*, 46(1), 41–64. doi:10.1016/S0169-023X(02)00195-7
- Cowell, L., & Smith, B. (2010). Infectious Disease Ontology. In Sintchenko, V. (Ed.), *Infectious Disease Informatics* (pp. 373–395). Springer New York. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-1327-2_19
- Cowell, L., Smith, B., & Goldfain, A. (2010). Dispositions and the Infectious Disease Ontology. In *Formal Ontology in Information Systems*.
- Davis, J., & Goadrich, M. (2006). The relationship between Precision-Recall and ROC curves. In *Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning* (pp. 233–240). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1143844.1143874
- Decker, S., Melnik, S., van Harmelen, F., Fensel, D., Klein, M., Broekstra, J., ... Horrocks, I. (2000). The Semantic Web: the roles of XML and RDF. *IEEE Internet Computing*, 4(5), 63–73. doi:10.1109/4236.877487
- Dieng-Kuntz, R., Minier, D., Růžička, M., Corby, F., Corby, O., & Alamarguy, L. (2006). Building and using a medical ontology for knowledge management and cooperative work in a health care network. *Computers in Biology and Medicine*, 36(7–8), 871–892. doi:10.1016/j.combiomed.2005.04.015
- Domingue, J. (1998). Tadzebao and WebOnto: Discussing, browsing, and editing ontologies on the web. In *In Proceedings of the 11th Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop*.
- Ehrig, M. (2007). *Ontology Alignment: Bridging the Semantic Gap*. Springer.
- Erdogan, H., Erdem, E., & Bodenreider, O. (2010). Exploting UMLS semantic for checking semantic consistency among UMLS concepts. *Poceedings of MedInfo*.
- Evans, R. S., Pestotnik, S. L., Classen, D. C., Clemmer, T. P., Weaver, L. K., Orme, J. F., ... Burke, J. P. (1998). A Computer-Assisted Management Program for Antibiotics and Other

- Antiinfective Agents. *New England Journal of Medicine*, 338(4), 232–238.
doi:10.1056/NEJM199801223380406
- Falasconi, S., & Stefanelli, M. (1994). A Library of Medical Ontologies. In *Proceedings of ECAI94 Workshop on Comparison of Implemented Ontologies* (Vol. 81–92). Retrieved from <http://europepmc.org/abstract/CIT/54456>
- Falkman, G., Gustafsson, M., Jontell, M., & Torgersson, O. (2008). SOMWeb: A Semantic Web-Based System for Supporting Collaboration of Distributed Medical Communities of Practice. *Journal of Medical Internet Research*, 10(3), e25. doi:10.2196/jmir.1059
- Fensel, D. (2004). *Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce*. Springer.
- Gangemi, A., Pisanelli, D., & Steve, G. (1998). Ontology Integration: Experiences with Medical Terminologies. In *Formal Ontology in Information Systems* (pp. 163–178). Press.
- Gangemi, A., Pisanelli, D., & Steve, G. (1999). An overview of the ONIONS project: Applying ontologies to the integration of medical terminologies. *Data & Knowledge Engineering*, 31(2), 183–220. doi:10.1016/S0169-023X(99)00023-3
- García-Crespo, A., Rodríguez-González, A., Mencke, M., Gómez-Berbís, J. M., & Colomo-Palacios, R. (2010). ODDIN: Ontology-driven differential diagnosis based on logical inference and probabilistic refinements. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2621–2628. doi:10.1016/j.eswa.2009.08.016
- Geller, J., He, Z., Perl, Y., Morrey, C., & Xu, J. (2013). Rule-based support system for multiple UMLS semantic type assignments. *Journal of Biomedical Informatics*, 46(1), 97–110. doi:10.1016/j.jbi.2012.09.007
- Ghazvinian, A., Noy, N. F., & Musen, M. A. (2011). How orthogonal are the OBO Foundry ontologies? *Journal of Biomedical Semantics*, 2(Suppl 2), S2. doi:10.1186/2041-1480-2-S2-S2

- Giustini, D. (2007). Web 3.0 and medicine. *BMJ*, 335(7633), 1273–1274.
doi:10.1136/bmj.39428.494236.BE
- Giustini, D. (2006). How Web 2.0 is changing medicine. *BMJ*, 333(7582), 1283–1284.
doi:10.1136/bmj.39062.555405.80
- Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International Journal of Human-Computer Studies*, 43(5–6), 907–928.
doi:10.1006/ijhc.1995.1081
- Gruber, T. R. (2008). Collective knowledge systems: Where the Social Web meets the Semantic Web. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 6(1), 4–13. doi:10.1016/j.websem.2007.11.011
- Guefack, V. D., Gounot, V. B., Duvauferrier, R., Morelli, A. B. J., & Lasbleiz, J. (2012). Ontology Driven Decision Support Systems for Medical Diagnosis. In *Quality of Life Through Quality of Information*. (Vol. 180, p. 108).
- Héja, G., Surján, G., Lukácsy, G., Pallinger, P., & Gergely, M. (2007). GALEN based formal representation of ICD10. *International Journal of Medical Informatics*, 76(2–3), 118–123. doi:10.1016/j.ijmedinf.2006.07.008
- Hepp, M., Bachlechner, D., & Siorpaes, K. (2006). OntoWiki: community-driven ontology engineering and ontology usage based on Wikis. In *Proceedings of the 2006 international symposium on Wikis* (pp. 143–144). New York, NY, USA: ACM.
doi:10.1145/1149453.1149487
- Heylighen, F. (1999). Collective Intelligence and its Implementation on the Web: Algorithms to Develop a Collective Mental Map. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 5(3), 253–280. doi:10.1023/A:1009690407292
- Hitzler, P., Krötzsch, M., Ehrig, M., & Sure, Y. (2005). What is ontology merging? - a categorytheoretic perspective using pushouts. In *Proceeding of the First International*

- Workshop on Contexts and Ontologies: Theory, Practice and Applications (C&O)* (pp. 104–107). AAAI Press.
- Hoehndorf, R., Oellrich, A., Dumontier, M., Kelso, J., Rebholz-Schuhmann, D., & Herre, H. (2010). Relations as patterns: bridging the gap between OBO and OWL. *BMC Bioinformatics*, *11*(1), 441. doi:10.1186/1471-2105-11-441
- Horwitz, S., Morgenstern, H., & Berkman, L. (1985). The impact of social stressors and social networks on pediatric medical care use. *Medical care*, *23*(8), 946–959.
- Huang, K., Geller, J., Halper, M., Perl, Y., & Xu, J. (2009). Using WordNet synonym substitution to enhance UMLS source integration. *Artificial Intelligence in Medicine*, *46*(2), 97–109. doi:10.1016/j.artmed.2008.11.008
- Huddle, T. (2005). Viewpoint: Teaching Professionalism: Is Medical Morality a Competency? *Academic Medicine*, *80*(10), 885–891.
- Kalfoglou, Y., & Schorlemmer, M. (2003). Ontology mapping: the state of the art. *The Knowledge Engineering Review*, *18*(01), 1–31. doi:10.1017/S0269888903000651
- Kamel, M. N., Maramba, I., & Wheeler, S. (2006). Wikis, blogs and podcasts: a new generation of Web-based tools for virtual collaborative clinical practice and education. *BMC Medical Education*, *6*(1), 41. doi:10.1186/1472-6920-6-41
- Kamel, M. N., & Wheeler, S. (2007). The emerging Web 2.0 social software: an enabling suite of sociable technologies in health and health care education. *Health Information & Libraries Journal*, *24*(1), 2–23. doi:10.1111/j.1471-1842.2007.00701.x
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2010). Users of the world, unite! The challenges and opportunities of Social Media. *Business Horizons*, *53*(1), 59–68. doi:10.1016/j.bushor.2009.09.003
- Kaplan, B. (2001). Evaluating informatics applications—clinical decision support systems literature review. *International Journal of Medical Informatics*, *64*(1), 15–37. doi:10.1016/S1386-5056(01)00183-6

- Kiryakov, A., Simov, K., & Dimitrov, M. (2001). OntoMap: portal for upper-level ontologies. In *Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - Volume 2001* (pp. 47–58). New York, NY, USA: ACM.
doi:10.1145/505168.505174
- Klein, M. (2001a). XML, RDF, and relatives. *IEEE Intelligent Systems*, 16(2), 26 – 28.
doi:10.1109/5254.920596
- Klein, M. (2001b). Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions. In *Gomez-Perez, Asuncion, Gruninger, Michael, Stuckenschmidt, Heiner, and Uschold, Michael, editors*. Seattle, WA, USA: Proceedings of Workshop on Ontologies and Information Sharing at IJCAI-01,.
- Kuhn, T. (2008). AceWiki: Collaborative Ontology Management in Controlled Natural Language. In *Proceedings of the 3rd Semantic Wiki Workshop, CEUR Workshop Proceedings*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/0807.4623>
- Ledley, R. S., & Lusted, L. B. (1959). Reasoning Foundations of Medical Diagnosis. Symbolic logic, probability, and value theory aid our understanding of how physicians reason. *Science*, 130(3366), 9–21.
- Lee, D., Cornet, R., & Lau, F. (2011). Implications of SNOMED CT versioning. *International Journal of Medical Informatics*, 80(6), 442–453. doi:10.1016/j.ijmedinf.2011.02.006
- Lee, D.W., Cornet, R., Lau, F., & de Keizer, N. (2013). A survey of SNOMED CT implementations. *Journal of Biomedical Informatics*, 46(1), 87–96. doi:10.1016/j.jbi.2012.09.006
- Lee, M., & Lan, Y. C. (2007). *From Web 2.0 to Conversational Knowledge Management: Towards Collaborative Intelligence*.
- Leis, A., & Mayer, M.A. (2011). Cómo utilizan los médicos de atención primaria en España las herramientas de la web 2.0 con fines sanitarios: estudio piloto. *Actas del XIV Congreso Nacional de Informática de Salud (Inforsalud 2011)*.

- Lipscomb, C. E. (2000). Medical Subject Headings (MeSH). *Bulletin of the Medical Library Association*, 88(3), 265–266.
- Luo, W., & Najdawi, M. (2004). Trust-building measures: a review of consumer health portals. *Commun. ACM*, 47(1), 108–113. doi:10.1145/962081.962089
- Maedche, A., & Staab, S. (2001). Ontology learning for the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, 16(2), 72–79. doi:10.1109/5254.920602
- Mangold, W. G., & Faulds, D. J. (2009). Social media: The new hybrid element of the promotion mix. *Business Horizons*, 52(4), 357–365. doi:10.1016/j.bushor.2009.03.002
- Mayer, M. A., Karkaletsis, V., Archer, P., Ruiz, P., Stamatakis, K., & Leis, A. (2006). Quality labelling of medical web content. *Health Informatics Journal*, 12(1), 81–87. doi:10.1177/1460458206061230
- McLean, R., Richards, B., & Wardman, J. (2007). The effect of Web 2.0 on the future of medical practice and education: Darwikinian evolution or folksonomic revolution? *Medical Journal of Australia*, 187(3). Retrieved from <https://www.mja.com.au/journal/2007/187/3/effect-web-20-future-medical-practice-and-education-darwikinian-evolution-or>
- Mikroyannidis, A., & Theodoulidis, B. (2010). Ontology management and evolution for business intelligence. *International Journal of Information Management*, 30(6), 559–566. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2009.10.002
- Miller, E., & Swick, R. (2003). An overview of W3C Semantic Web activity. *Bulletin of the american society for information science and technology*, (4).
- Miller, R. (1994). Medical Diagnostic Decision Support Systems—Past, Present, And Future A Threaded Bibliography and Brief Commentary. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 1(1), 8–27. doi:10.1136/jamia.1994.95236141
- Mitschick, A., Winkler, R., & Meißner, K. (2007). *Searching Community-built Semantic Web Resources to Support Personal Media Annotation*.

- Mougin, F., Bodenreider, O., & Burgun, A. (2009). Analyzing polysemous concepts from a clinical perspective: Application to auditing concept categorization in the UMLS. *Journal of Biomedical Informatics*, 42(3), 440–451. doi:10.1016/j.jbi.2009.03.008
- Mungall, C., Gkoutos, G., Smith, C., Haendel, M., Lewis, S., & Ashburner, M. (2010). Integrating phenotype ontologies across multiple species. *Genome biology*, 11(1), R2. doi:10.1186/gb-2010-11-1-r2
- Musen, M. A., Shahar, Y., & Shortliffe, E. H. (2006). Clinical decision-support systems. *Biomedical Informatics*, 698–736.
- Musser, J., & O'Reilly, T. (2007). Web 2.0. *CERN Document Server*. Retrieved June 7, 2013, from <http://cds.cern.ch/record/1509918>
- O'Reilly, T. (2005). *What is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software* (SSRN Scholarly Paper No. ID 1008839). Rochester, NY: Social Science Research Network. Retrieved from <http://papers.ssrn.com/abstract=1008839>
- Oh, H., Rizo, C., Enkin, M., & Jadad, A. (2005). What Is eHealth: A Systematic Review of Published Definitions. *Journal of Medical Internet Research*, 7(1). doi:10.2196/jmir.7.1.e1
- Pinto, H. S., Gómez-Pérez, A., & Martins, J. P. (1999). *Some Issues on Ontology Integration*.
- Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37–63.
- Rector, A. L., Gangemi, A., Gellazzi, E., Glowinski, A. J., & Rossi-Mori, A. (1994). The GALEN CORE Model Schemata for Anatomy: Towards a Re-usable Application-Independent Model of Medical Concepts. In *Proceedings of Medical Informatics Europe*. (pp. 186–189). Lisbon.
- Rector, A. L., & Rogers, J. E. (1999). Ontological issues in using a description logic to represent medical concepts: Experience from GALEN. In *IMIA WORKING GROUP 6 WORKSHOP*.

- Rector, A. L., Rogers, J. E., & Pole, P. (1996). The GALEN high level ontology. *Studies in health technology and informatics*, 174–178.
- Rector, A. L., Rogers, J. E., Zanstra, P. E., & van der Haring, E. (2003). OpenGALEN: Open Source Medical Terminology and Tools. *AMIA Annual Symposium Proceedings*, 982.
- Rector, A. L., Rossi, A., Consorti, M., & Zanstra, P. E. (1998). Practical development of re-usable terminologies: GALEN-IN-USE and the GALEN Organisation. *International Journal of Medical Informatics*, 48(1–3), 71–84. doi:10.1016/S1386-5056(97)00113-5
- Rodríguez-González, A., Hernández-Chan, G., Colomo-Palacios, R., Gómez-Berbís, J. M., García-Crespo, A., Alor-Hernández, G., & Valencia-García, R. (2012). Towards an Ontology to Support Semantics Enabled Diagnostic Decision Support Systems. *Current Bioinformatics*, 7(3), 234–245. doi:10.2174/157489312802460721
- Rodríguez-González, A., Torres-Niño, J., Valencia-García, R., Mayer, M. A., & Alor-Hernández, G. (2013). Using expert feedback in clinical case resolution and arbitration as accuracy diagnosis methodology. *Computers in Biology and Medicine*. doi:10.1016/j.compbiomed.2013.05.003
- Rohani, V. A., & Hock, O. S. (2009). On Social Network Web Sites: Definitions, Features, Architectures and Analysis Tools. *Journal of Computer Engineering*, 1, 3–11.
- Rollett, H., Lux, M., Strohmaier, M., Dosinger, G., & Klaus, T. (2007). The Web 2.0 way of learning with technologies. *International Journal of Learning Technology*, 3(1), 87–107.
- Schober, D., Smith, B., Lewis, S., Kusnierczyk, W., Lomax, J., Mungall, C., ... Sansone, S. (2009). Survey-based naming conventions for use in OBO Foundry ontology development. *BMC Bioinformatics*, 10(1), 125. doi:10.1186/1471-2105-10-125
- Schulz, S., Suntisrivaraporn, B., Baader, F., & Boeker, M. (2009). SNOMED reaching its adolescence: Ontologists' and logicians' health check. *International Journal of Medical Informatics*, 78, Supplement 1, S86–S94. doi:10.1016/j.ijmedinf.2008.06.004

- Shahpori, R., & Doig, C. (2010). Systematized Nomenclature of Medicine–Clinical Terms direction and its implications on critical care. *Journal of Critical Care*, 25(2), 364.e1–364.e9. doi:10.1016/j.jcrc.2009.08.008
- Shortliffe, E. H. (1990). Readings in uncertain reasoning. In Shafer, G. & Pearl, J. (Eds.), (pp. 161–166). San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=84628.85322>
- Smith, B., Ashburner, M., Rosse, C., Bard, J., Bug, W., Ceusters, W., ... Lewis, S. (2007). The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. *Nature Biotechnology*, 25(11), 1251–1255. doi:10.1038/nbt1346
- Smith, B., Ceusters, W., Klagges, B., Köhler, J., Kumar, A., Lomax, J., ... Rosse, C. (2005). Relations in biomedical ontologies. *Genome Biology*, 6(5), R46. doi:10.1186/gb-2005-6-5-r46
- Smith, B. (2008). Ontology (Science). In *Proceeding of the 2008 Conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Fifth international Conference (FOIS 2008)*. (Vol. 183, pp. 21–35). Presented at the Frontiers in Artificial Intelligence and Applications.
- Smith, B., Ashburner, M., Rosse, C., Bard, J., Bug, W., Ceusters, W., ... Lewis, S. (2007). The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. *Nature Biotechnology*, 25(11), 1251–1255.
- Sokolova, M., Japkowicz, N., & Szpakowicz, S. (2006). Beyond Accuracy, F-Score and ROC: A Family of Discriminant Measures for Performance Evaluation. In *AI 2006: Advances in Artificial Intelligence* (pp. 1015–1021). Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/11941439_114
- Spackman, K, A., Campbell, K, E., & Coté, R, A. (1997). SNOMED RT: a reference terminology for health care. *Proceedings of the AMIA Annual Fall Symposium*, 640–644.
- Surowiecki, J. (2005). *The wisdom of crowds*. New York: Anchor Books.

- Trombert-Paviot, B., Rodrigues, J. M., Rogers, J. E., Baud, R., van der Haring, E., Rassinoux, A. M., ... Idir, H. (2000). GALEN: a third generation terminology tool to support a multipurpose national coding system for surgical procedures. *International Journal of Medical Informatics*, 58–59, 71–85. doi:10.1016/S1386-5056(00)00077-0
- Trowbridge, R., & Weingarten, S. (2001). Clinical decision support systems. In *Making health care safer: a critical analysis of patient safety practices. Evidence Report/Technology Assessment* (Vol. 43).
- Tudorache, T., Noy, N. F., Tu, S., & Musen, M. A. (2008). Supporting Collaborative Ontology Development in Protégé. In *Proceedings of the 7th International Conference on The Semantic Web* (pp. 17–32). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-540-88564-1_2
- Wang, A. Y., Barrett, J. W., Bentley, T., Markwell, D., Price, C., Spackman, K. A., & Stearns, M. Q. (2001). Mapping between SNOMED RT and Clinical terms version 3: a key component of the SNOMED CT development process. *Proceedings of the AMIA Symposium*, 741–745.
- Wang, Y., Halper, M., Min, H., Perl, Y., Chen, Y., & Spackman, K. A. (2007). Structural methodologies for auditing SNOMED. *Journal of Biomedical Informatics*, 40(5), 561–581. doi:10.1016/j.jbi.2006.12.003
- Wang, Y., Halper, M., Wei, D., Perl, Y., & Geller, J. (2012). Abstraction of complex concepts with a refined partial-area taxonomy of SNOMED. *Journal of Biomedical Informatics*, 45(1), 15–29. doi:10.1016/j.jbi.2011.08.013
- Weingarten, M., Bazal, D., & Shannon, H. (1989). Computerized Protocol for Preventive Medicine: A Controlled Self-Audit in Family Practice. *Family Practice*, 6(2), 120–124. doi:10.1093/fampira/6.2.120

- Werner, C., Barry, S., Anand, K., & Christoffel, D. (2004). Mistakes in Medical Ontologies: Where Do They Come From and How can They Be Detected? In *Ontologies in Medicine*.
- Xiang, Y., Lu, K., James, S. L., Borlawsky, T. B., Huang, K., & Payne, P. (2012). k-Neighborhood decentralization: A comprehensive solution to index the UMLS for large scale knowledge discovery. *Journal of Biomedical Informatics*, 45(2), 323–336.
doi:10.1016/j.jbi.2011.11.012
- Zhdanova, A. V. (2008). Community-driven ontology construction in social networking portals. *Web Intelligence and Agent Systems*, 6(1), 93–121. doi:10.3233/WIA-2008-0132
- Zúñiga, G. L. (2001). Ontology: its transformation from philosophy to information systems. In *Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - Volume 2001* (pp. 187–197). New York, NY, USA: ACM.
doi:10.1145/505168.505187
- Zweigenbaum, P. (1994). MENELAS: an access system for medical records using natural language. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 45(1–2), 117–120.
doi:10.1016/0169-2607(94)90029-9
- Zweigenbaum, P., Bachimont, B., Bouaud, J., Charlet, J., & Boisvieux, J. F. (1995). Issues in the structuring and acquisition of an ontology for medical language understanding. *Methods of information in medicine*, 34(1-2), 15–24.

10. ANEXOS

En esta sección de anexos se muestran las tablas y gráficas que contienen la información completa que muestra los valores obtenidos para todas las métricas para cada una de las enfermedades con cada uno de los métodos de consenso. De igual manera se muestran las tablas con los datos globales completos tanto para el caso de la intersección como para el caso de la unión.

En algunos casos las tablas se han dividido con el fin de mostrar de mejor forma la información que estas contienen. Por ejemplo, algunas tablas muestran la comparación entre el estándar de oro y los cinco niveles de consenso establecidos para el primero de los métodos, mientras que otras tablas muestran la comparación entre el estándar de oro y el segundo y tercer método tanto para el caso de la unión como para el caso de la intersección.

10.1 TABLAS Y GRÁFICAS DEL EXPERIMENTO 1.

Bronquitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	33,33%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	80,00%	100,00%	95,00%	95,00%	90,00%	90,00%
Specificity	77,78%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	75,46%	100,00%	84,41%	84,41%	0,00%	0,00%

Tabla 38. Resultado Bronquitis. M1. Intersección

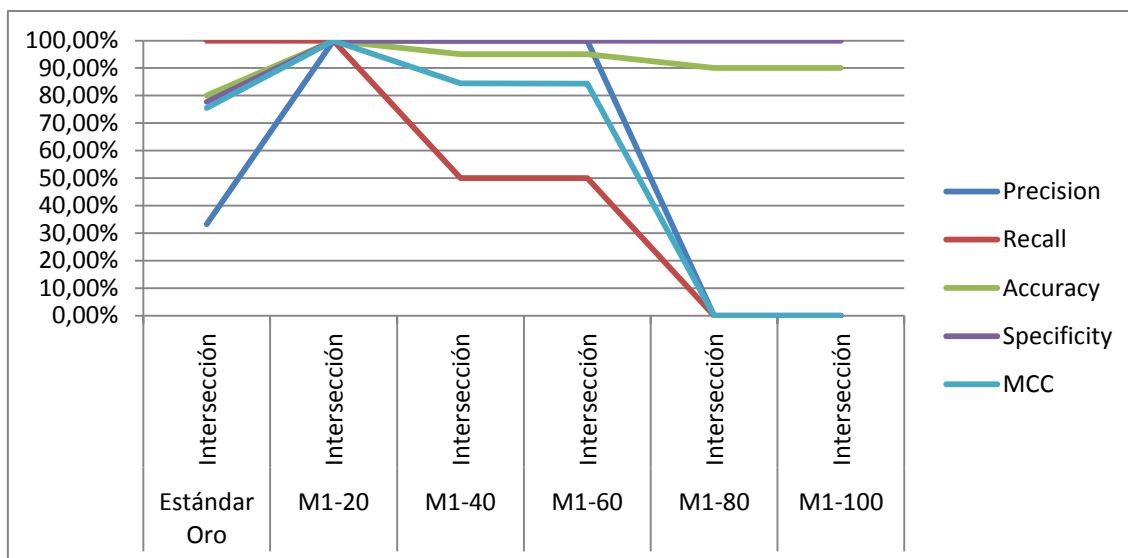


Figura 57. Resultado Bronquitis. M1. Intersección

Bronquitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	50,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	66,67%	33,33%	33,33%	0,00%	0,00%
Accuracy	85,00%	95,00%	90,00%	90,00%	85,00%	85,00%
Specificity	82,35%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	82,08%	89,67%	77,31%	77,31%	0,00%	0,00%

Tabla 39. Resultado Bronquitis. M1. Unión

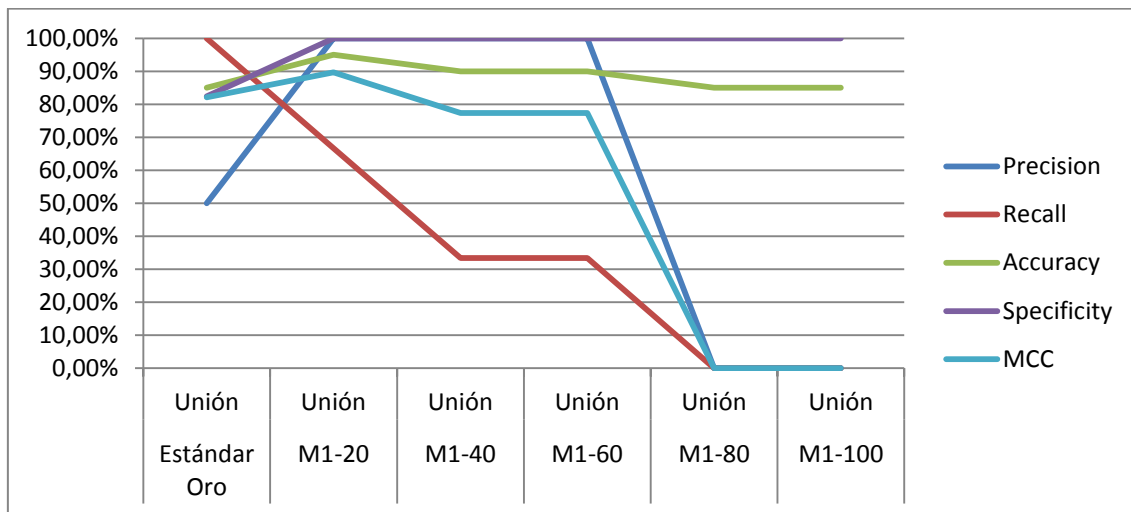


Figura. 58. Resultado Bronquitis. M1. Unión

Bronquitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	33,33%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	80,00%	90,00%	90,00%	100,00%	100,00%
Specificity	77,78%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	75,46%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%

Tabla 40 Resultado Bronquitis. M2 y M3. Intersección

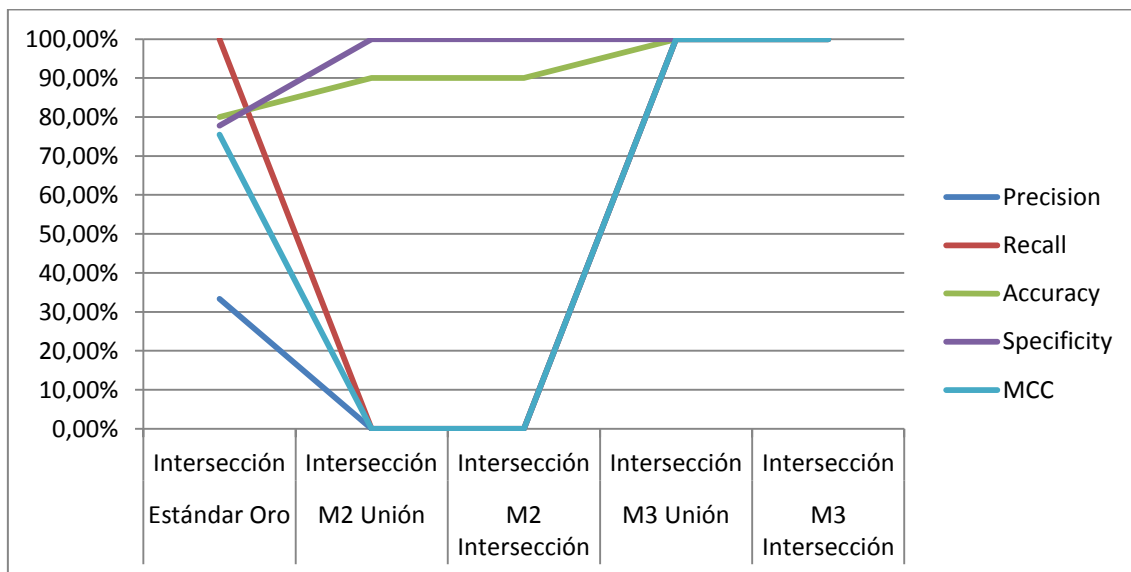


Figura. 59. Resultado Bronquitis. M2 y M3. Intersección

Bronquitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	50,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	66,67%	66,67%
Accuracy	85,00%	85,00%	85,00%	95,00%	95,00%
Specificity	82,35%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	82,08%	0,00%	0,00%	89,67%	89,67%

Tabla 41. Resultado Bronquitis. M2 y M3. Unión

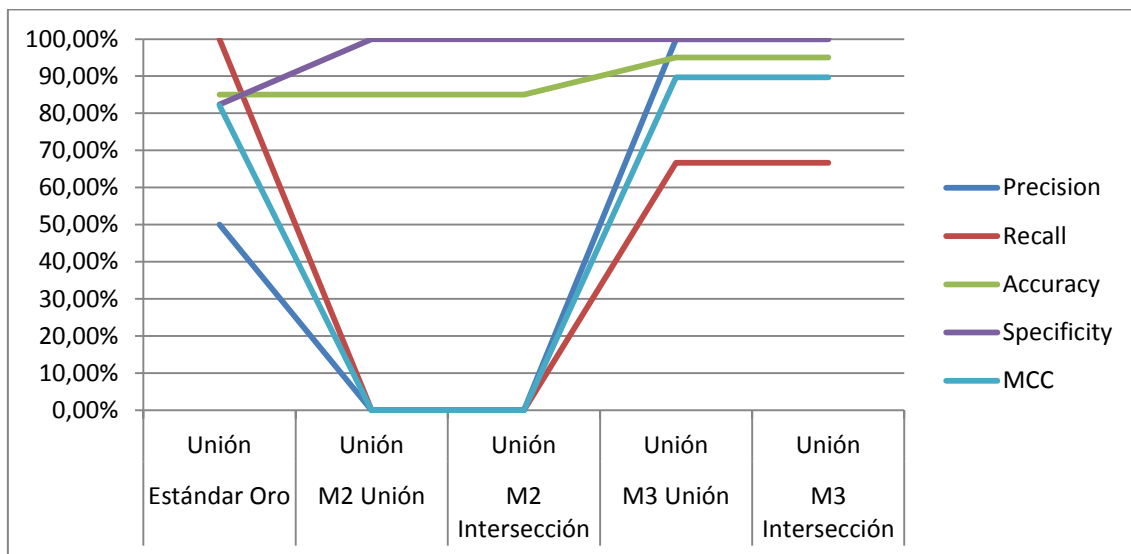


Figura. 60. Resultado Bronquitis. M2 y M3. Unión

Cólera						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	90,00%	90,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	89,47%	94,74%	94,74%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	46,18%	47,37%	47,37%	0,00%	0,00%

Tabla 42. Resultado Cólera. M1. Intersección

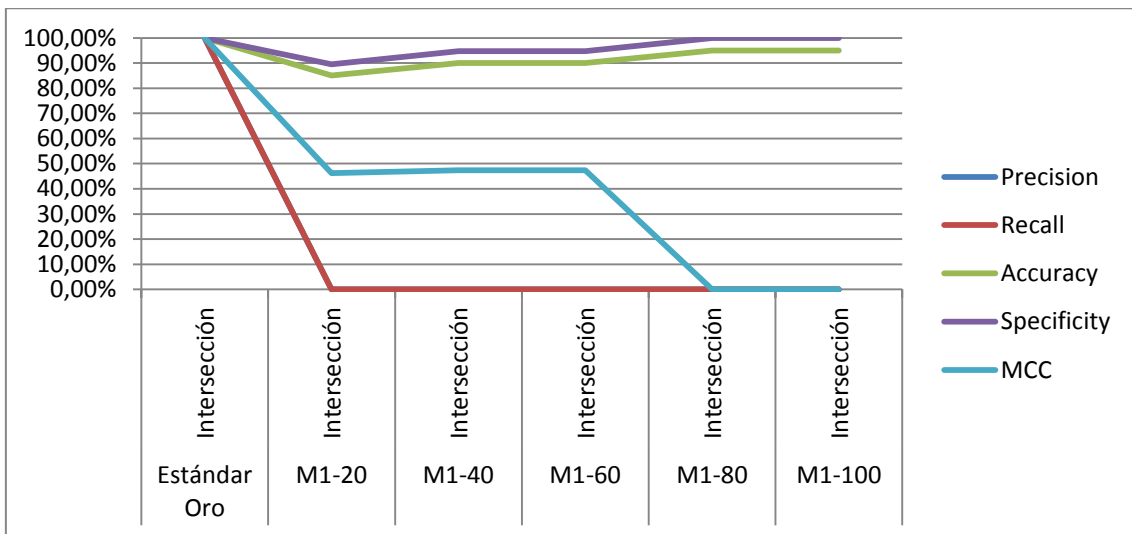


Figura. 61. Resultado Cólera. M1. Intersección

Cólera						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	90,00%	90,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	89,47%	94,74%	94,74%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	46,18%	47,37%	47,37%	0,00%	0,00%

Tabla 43. Resultado Cólera. M1. Unión

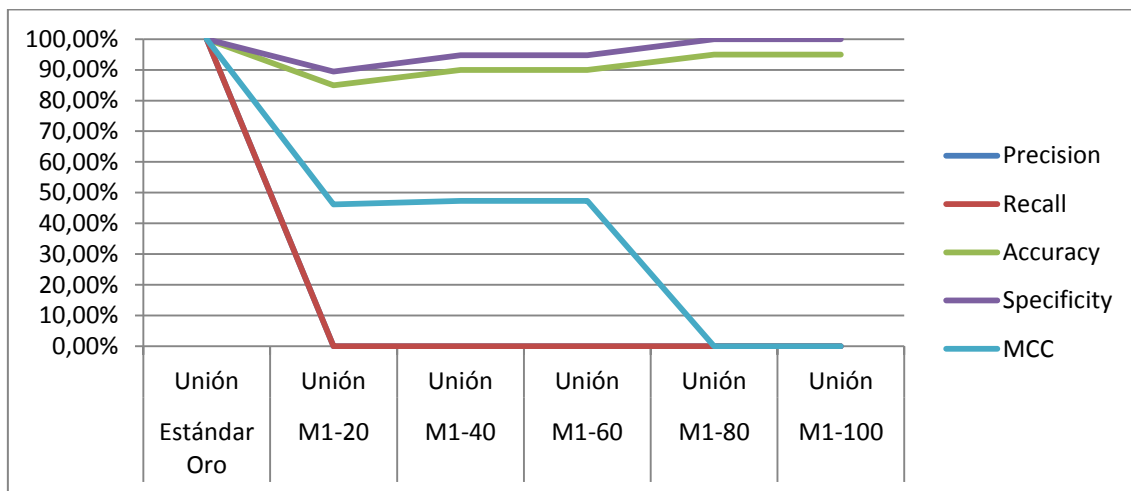


Figura. 62. Resultado Cólera. M1. Unión

Cólera					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	95,00%	90,00%	90,00%
Specificity	100,00%	89,47%	100,00%	94,74%	94,74%
MCC	100,00%	46,18%	0,00%	47,37%	47,37%

Tabla 44. Resultado Cólera. M2 y M3. Intersección

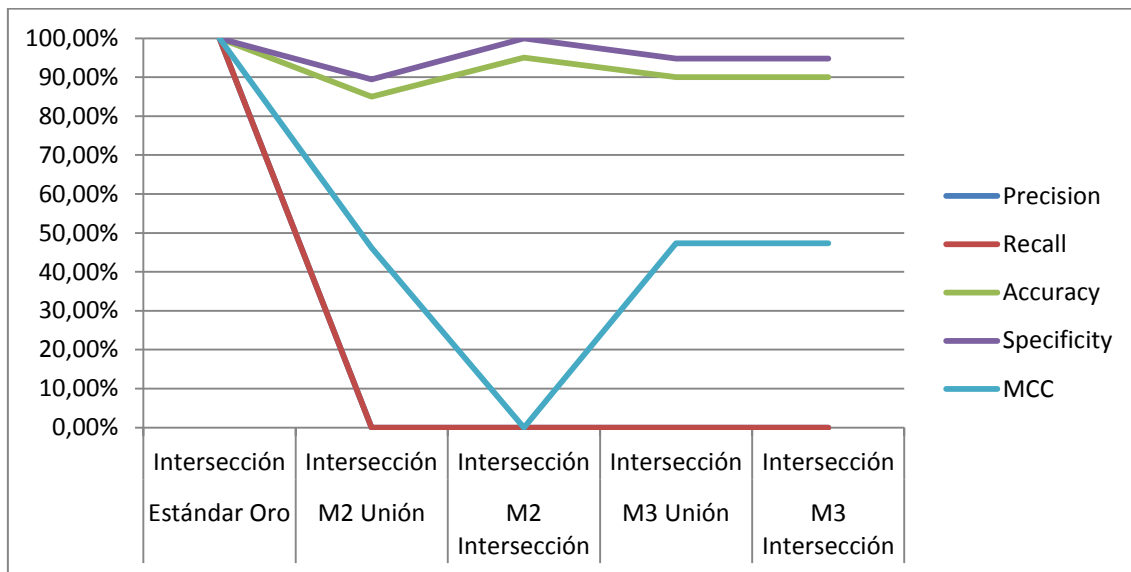


Figura. 63. Resultado Cólera. M2 y M3. Intersección

Cólera					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	95,00%	90,00%	90,00%
Specificity	100,00%	89,47%	100,00%	94,74%	94,74%
MCC	100,00%	46,18%	0,00%	47,37%	47,37%

Tabla 45. Resultado Cólera. M2 y M3. Unión

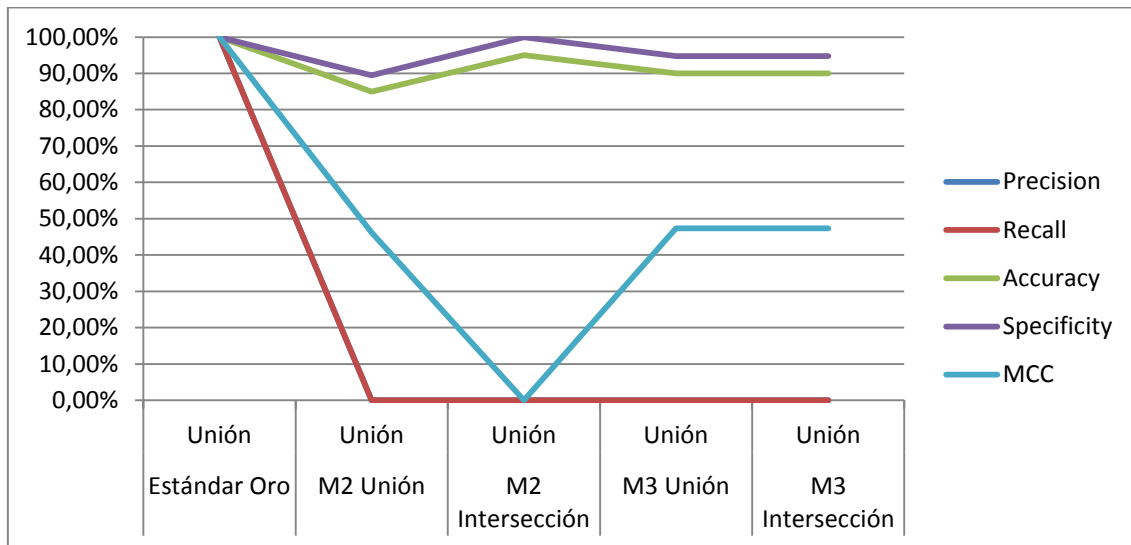


Figura. 64. Resultado Cólera. M2 y M3. Unión

Gastroenteritis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%
Recall	75,00%	25,00%	25,00%	25,00%	25,00%	0,00%
Accuracy	95,00%	85,00%	85,00%	85,00%	85,00%	80,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	92,01%	72,94%	72,94%	72,94%	72,94%	0,00%

Tabla 46. Resultado Gastroenteritis. M1. Intersección

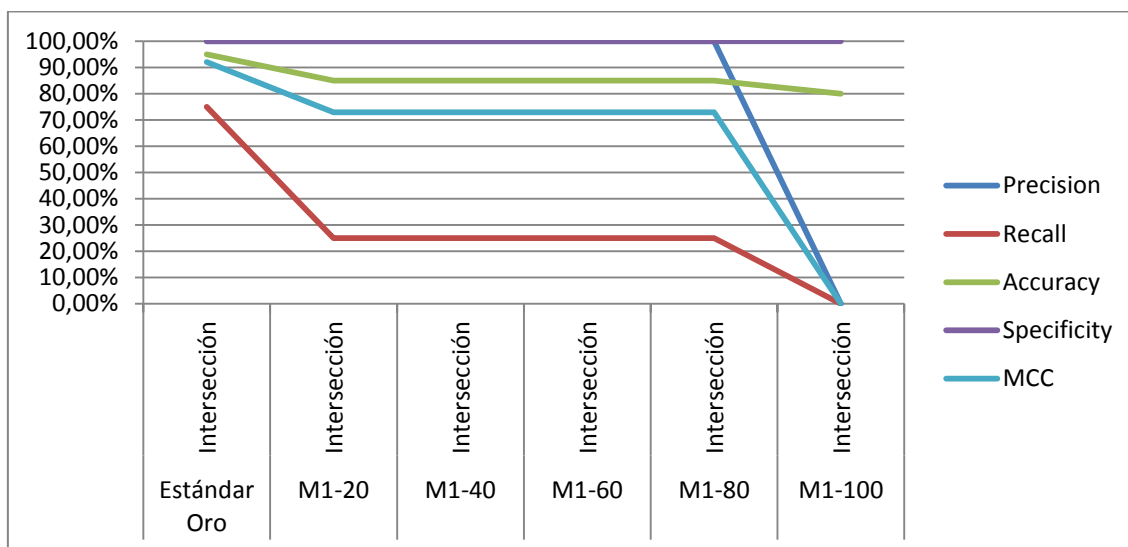


Figura. 65. Resultado Gastroenteritis. M1. Intersección

Gastroenteritis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%
Recall	75,00%	25,00%	25,00%	25,00%	25,00%	0,00%
Accuracy	95,00%	85,00%	85,00%	85,00%	85,00%	80,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	92,01%	72,94%	72,94%	72,94%	72,94%	0,00%

Tabla 47. Resultado Gastroenteritis. M1. Unión

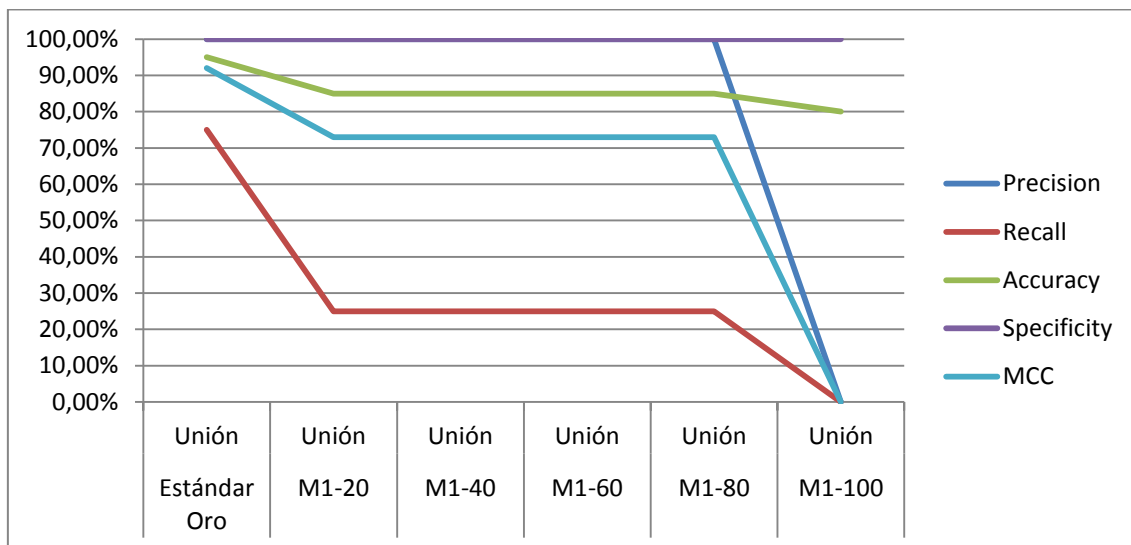


Figura. 66. Resultado Gastroenteritis. M1. Unión

Gastroenteritis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	75,00%	25,00%	0,00%	25,00%	25,00%
Accuracy	95,00%	85,00%	80,00%	85,00%	85,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	92,01%	72,94%	0,00%	72,94%	72,94%

Tabla 48. Resultado Gastroenteritis. M2 y M3. Intersección

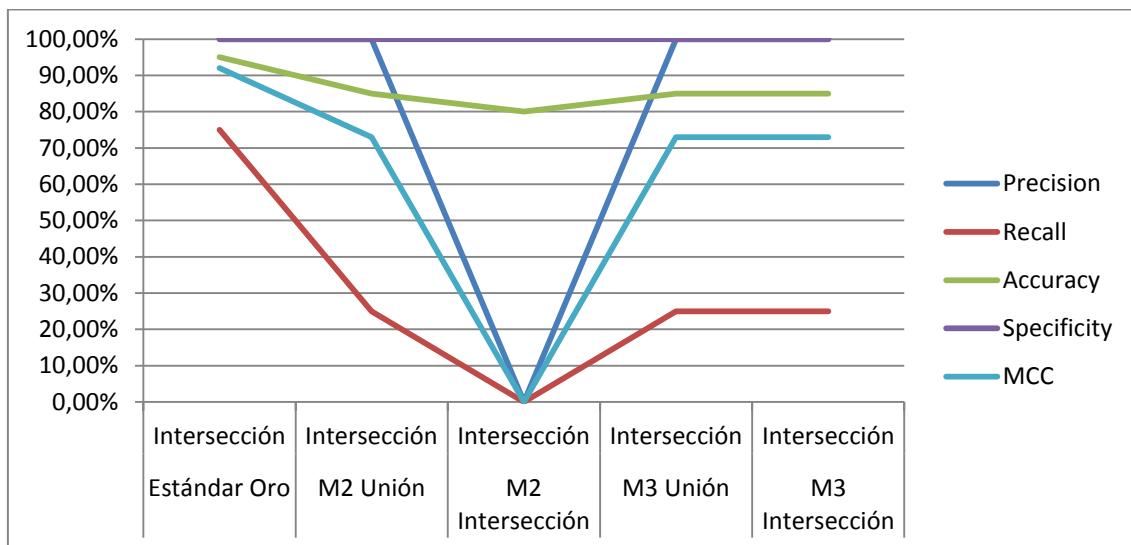


Figura. 67. Resultado Gastroenteritis. M2 y M3. Intersección

Gastroenteritis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	75,00%	25,00%	0,00%	25,00%	25,00%
Accuracy	95,00%	85,00%	80,00%	85,00%	85,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	92,01%	72,94%	0,00%	72,94%	72,94%

Tabla 49. Resultado Gastroenteritis. M2 y M3. Unión

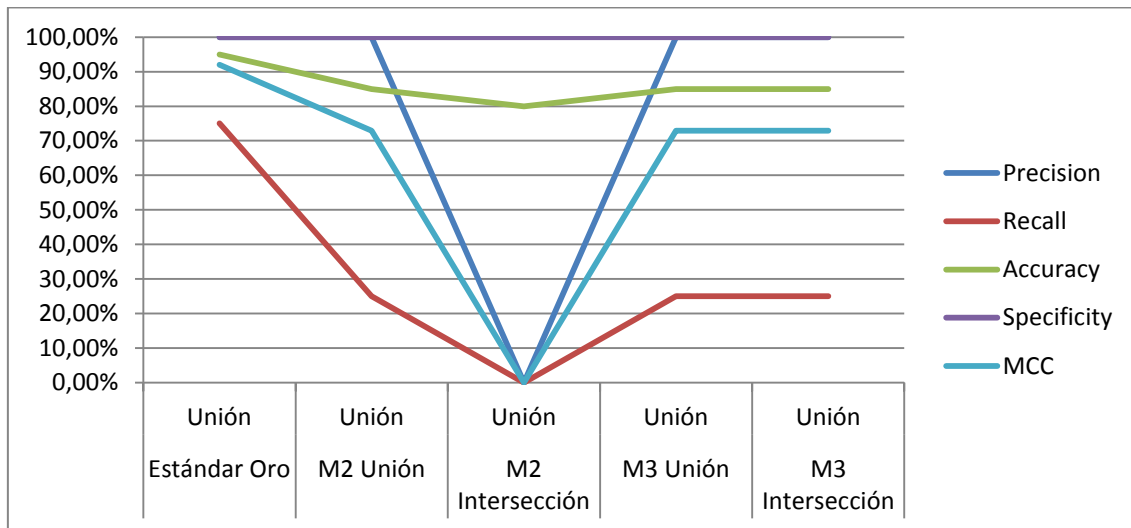


Figura. 68. Resultado Gastroenteritis. M2 y M3. Unión

Meningitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	66,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	85,00%	85,00%	85,00%	85,00%
Specificity	100,00%	88,24%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	74,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 50. Resultado Meningitis. M1. Intersección

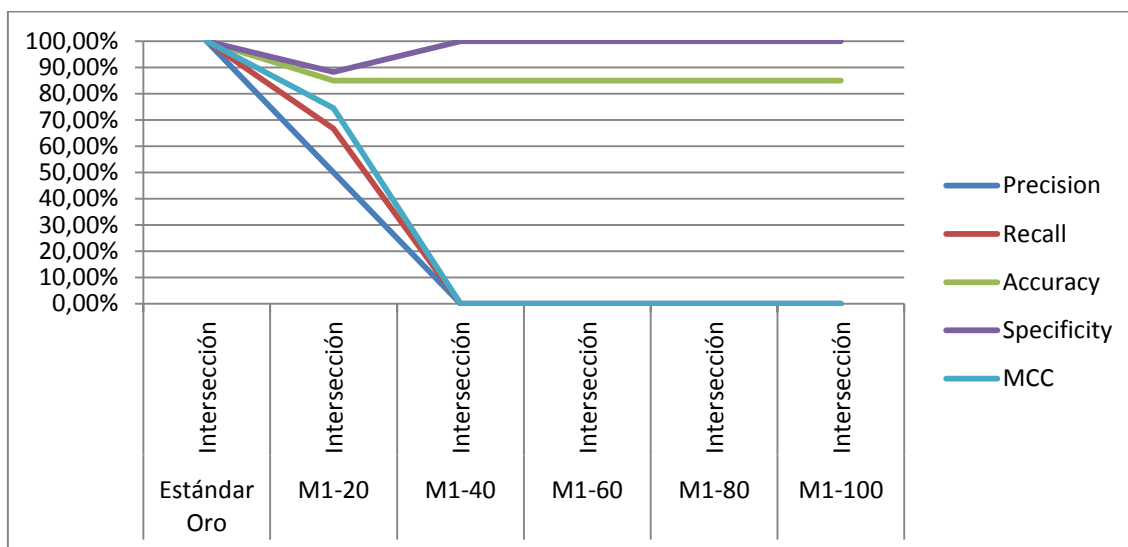


Figura. 69. Resultado Meningitis. M1. Intersección

Meningitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	75,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	75,00%	75,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	95,00%	90,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%
Specificity	100,00%	93,75%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	92,01%	84,38%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 51. Resultado Meningitis. M1. Unión

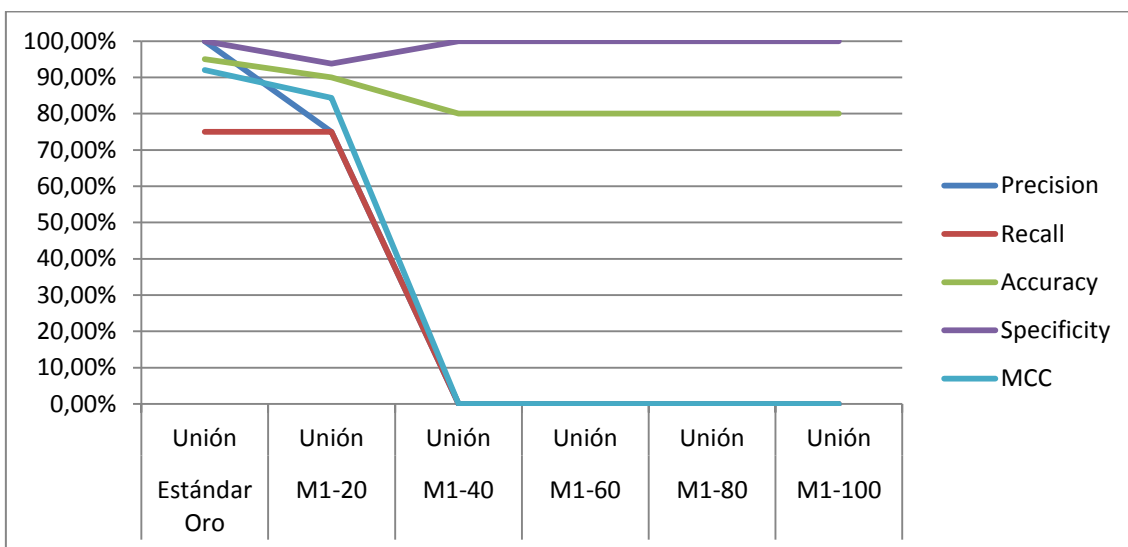


Figura. 70. Resultado Meningitis. M1. Unión

Meningitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	85,00%	85,00%	85,00%	85,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 52. Resultado Meningitis. M2 y M3. Intersección

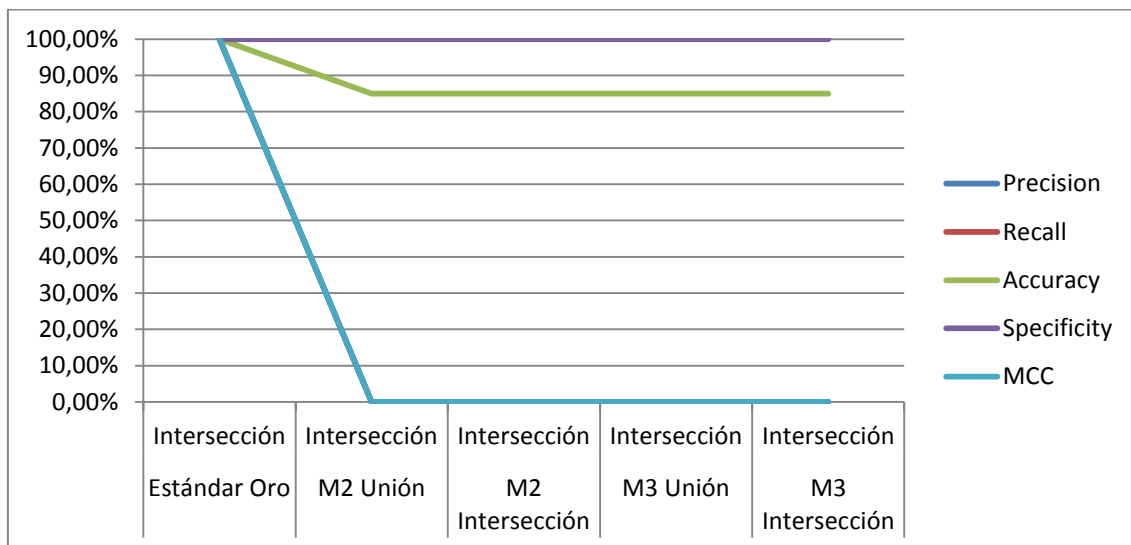


Figura. 71. Resultado Meningitis. M2 y M3. Intersección

Meningitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Recall	75,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%
Accuracy	95,00%	80,00%	80,00%	80,00%	90,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	92,01%	0,00%	0,00%	0,00%	83,33%

Tabla 53. Resultado Meningitis. M2 y M3. Unión

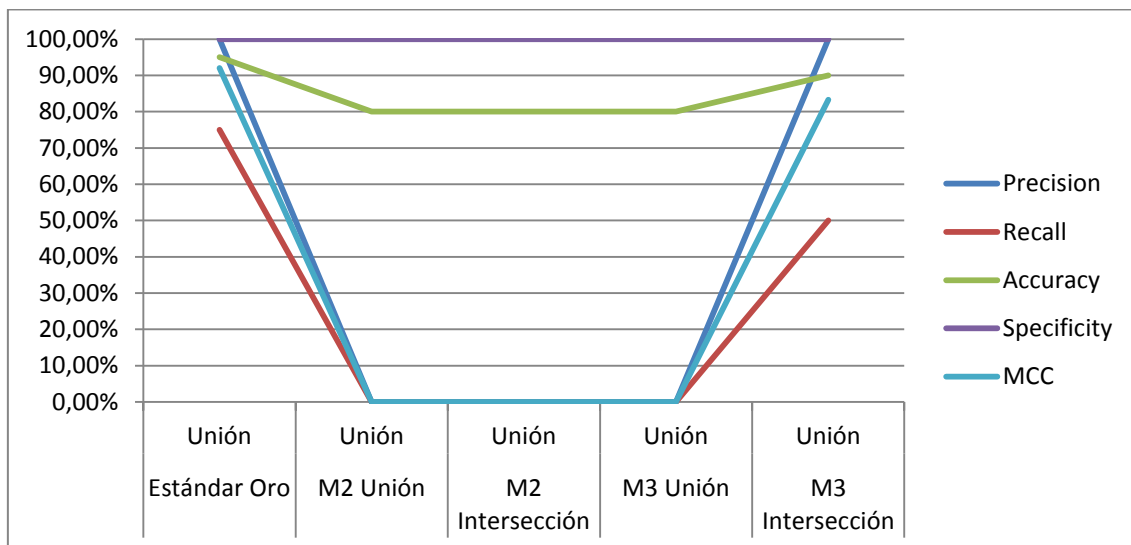


Figura. 72. Resultado Meningitis. M2 y M3. Unión

Neumonía						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	80,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	50,00%	25,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	95,00%	90,00%	85,00%	80,00%	80,00%	80,00%
Specificity	93,75%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	93,30%	83,33%	72,94%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 54. Resultado Neumonía. M1. Intersección

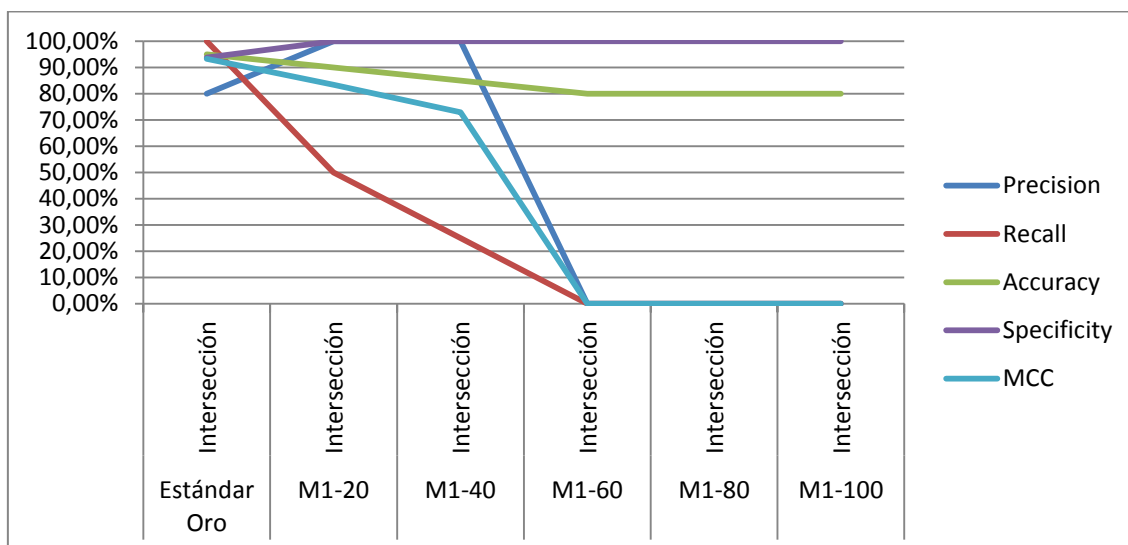


Figura. 73. Resultado Neumonía. M1. Intersección

Neumonía						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	71,43%	28,57%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	90,00%	75,00%	70,00%	65,00%	65,00%	65,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	89,34%	72,71%	65,63%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 55. Resultado Neumonía. M1. Unión

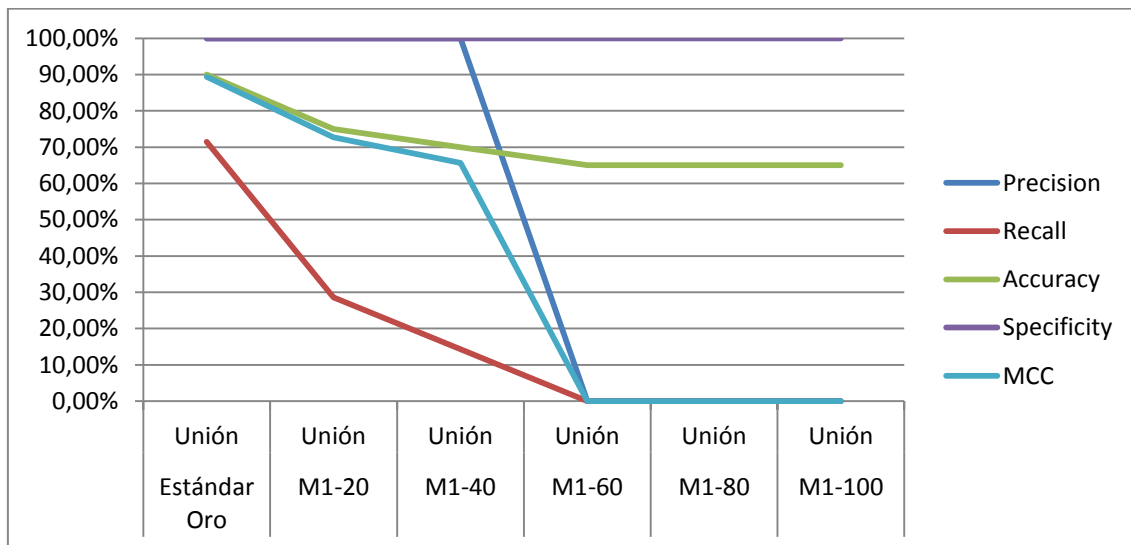


Figura. 74. Resultado Neumonía. M1. Unión

Neumonía					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	80,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	0,00%	0,00%	50,00%	50,00%
Accuracy	95,00%	80,00%	80,00%	90,00%	90,00%
Specificity	93,75%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	93,30%	0,00%	0,00%	83,33%	83,33%

Tabla 56. Resultado Neumonía. M2 y M3. Intersección

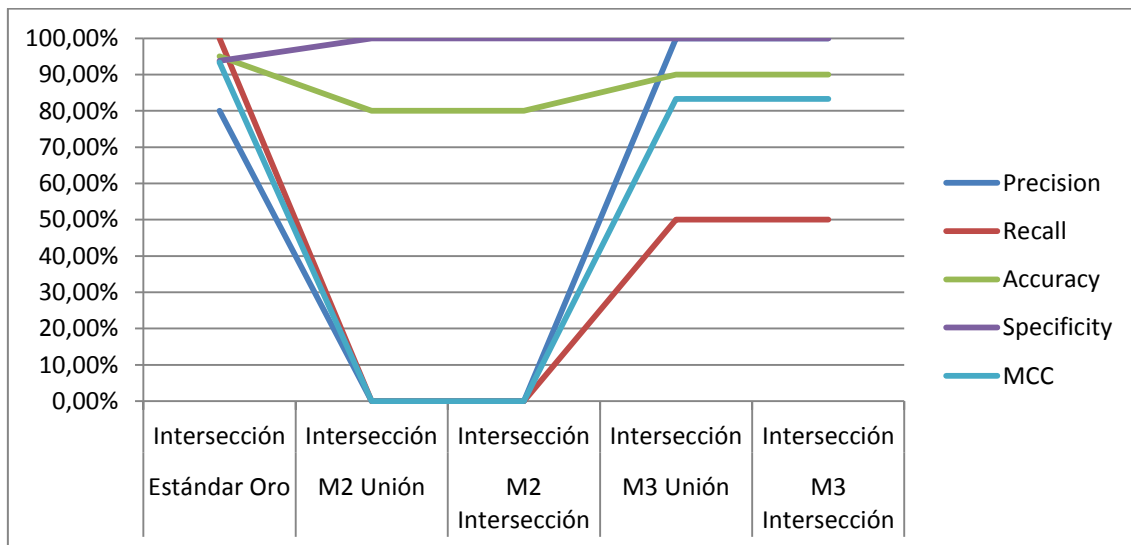


Figura. 75. Resultado Neumonía. M2 y M3. Intersección

Neumonía					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	71,43%	0,00%	0,00%	28,57%	28,57%
Accuracy	90,00%	65,00%	65,00%	75,00%	75,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	89,34%	0,00%	0,00%	72,71%	72,71%

Tabla 57. Resultado Neumonía. M2 y M3. Unión

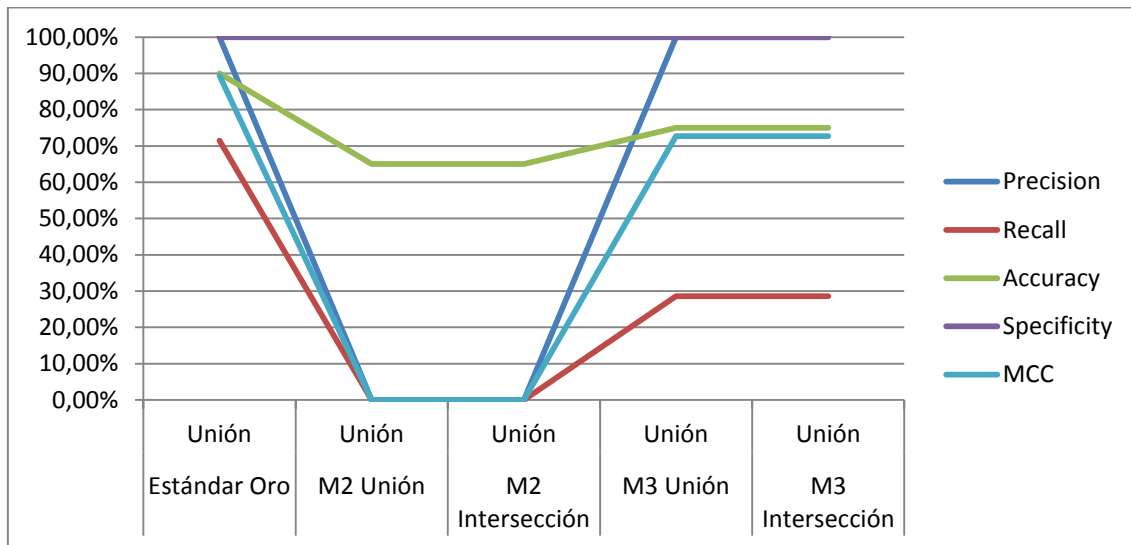


Figura. 76. Resultado Neumonía. M2 y M3. Unión

Global Intersección						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
Precision	82,67%	70,00%	60,00%	40,00%	20,00%	0,00%
Recall	95,00%	48,33%	20,00%	15,00%	5,00%	0,00%
Accuracy	94,00%	89,00%	88,00%	87,00%	87,00%	86,00%
Specificity	94,31%	95,54%	98,95%	98,95%	100,00%	100,00%
MCC	92,15%	75,39%	55,53%	40,94%	14,59%	0,00%

Tabla 58. Experimento 1. Resultado global. M1. Intersección

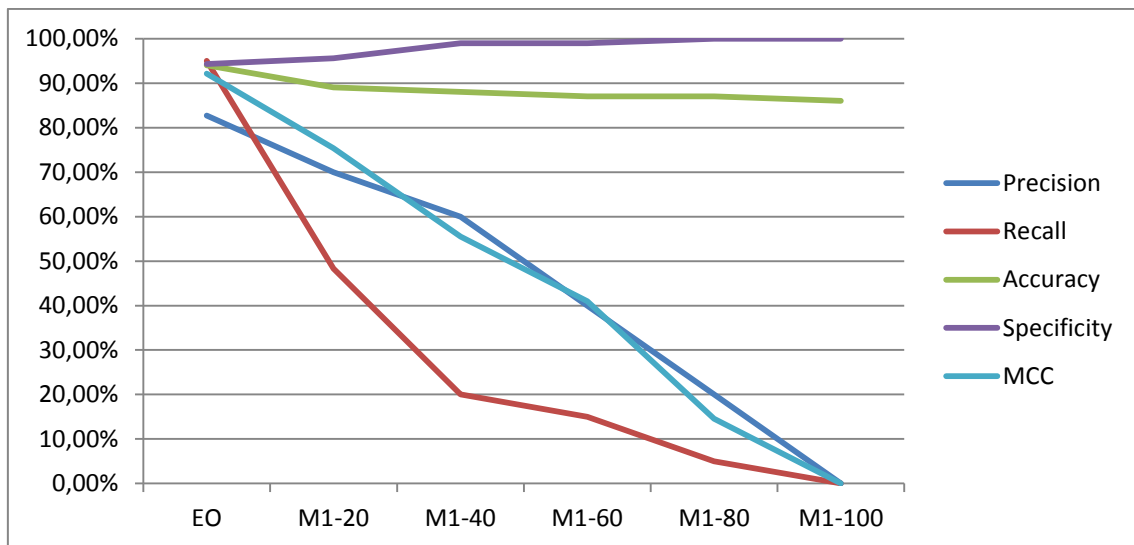


Figura. 77. Experimento 1. Resultado global. M1. Intersección

Global Unión						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
Precision	90,00%	75,00%	60,00%	40,00%	20,00%	0,00%
Recall	84,29%	39,05%	14,52%	11,67%	5,00%	0,00%
Accuracy	93,00%	86,00%	83,00%	82,00%	82,00%	81,00%
Specificity	96,47%	96,64%	98,95%	98,95%	100,00%	100,00%
MCC	91,09%	73,18%	52,65%	39,52%	14,59%	0,00%

Tabla 59. Experimento 1. Resultado global. M1. Unión

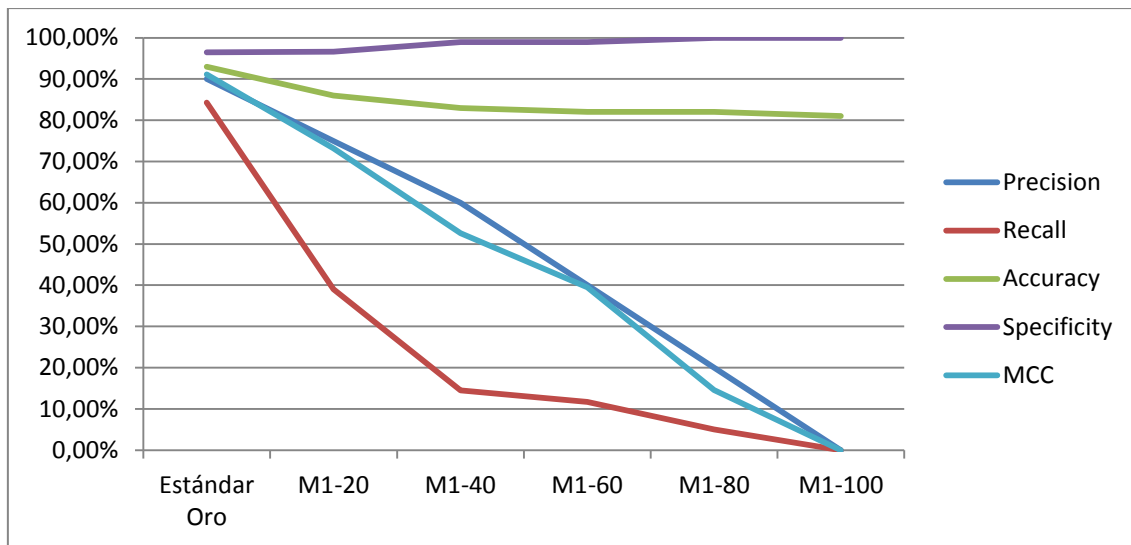


Figura. 78. Experimento 1. Resultado global. M1. Unión

	Global Intersección				
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
Precision	82,67%	20,00%	0,00%	60,00%	60,00%
Recall	95,00%	5,00%	0,00%	35,00%	35,00%
Accuracy	94,00%	85,00%	86,00%	90,00%	90,00%
Specificity	94,31%	97,89%	100,00%	98,95%	98,95%
MCC	92,15%	23,82%	0,00%	60,73%	60,73%

Tabla 60. Experimento 1. Resultado global. M2 y M3. Intersección

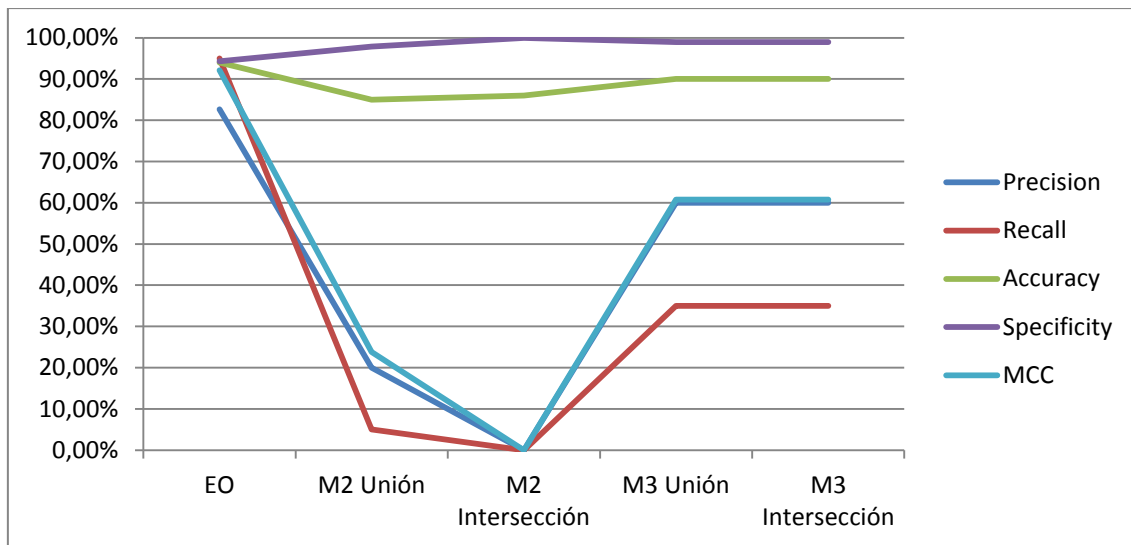


Figura. 79. Experimento 1. Resultado global. M2 y M3. Intersección

Global Unión					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
Precision	90,00%	20,00%	0,00%	60,00%	60,00%
Recall	84,29%	5,00%	0,00%	24,05%	24,05%
Accuracy	93,00%	80,00%	81,00%	85,00%	85,00%
Specificity	96,47%	97,89%	100,00%	98,95%	98,95%
MCC	91,09%	23,82%	0,00%	56,54%	56,54%

Tabla 61. Experimento 1. Resultado global. M2 y M3. Unión

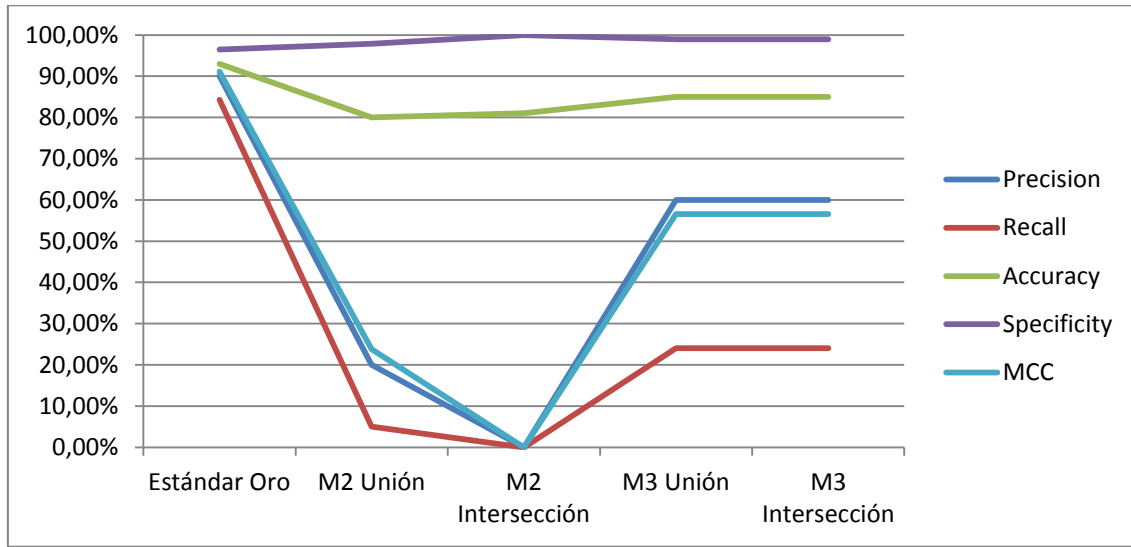


Figura. 80. Experimento 1. Resultado global. M2 y M3. Unión

10.2 TABLAS Y GRÁFICAS DEL EXPERIMENTO 2.

Asma						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%

Tabla 62. Resultado Asma. M1. Intersección

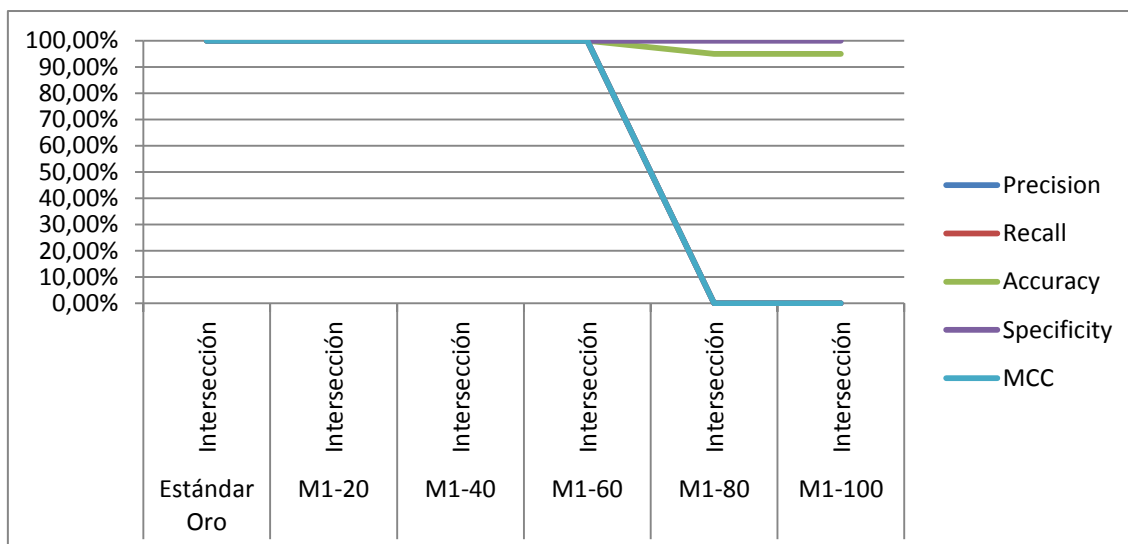


Figura. 81. Resultado Asma. M1. Intersección

Asma						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%

Tabla 63. Resultado Asma. M1. Unión

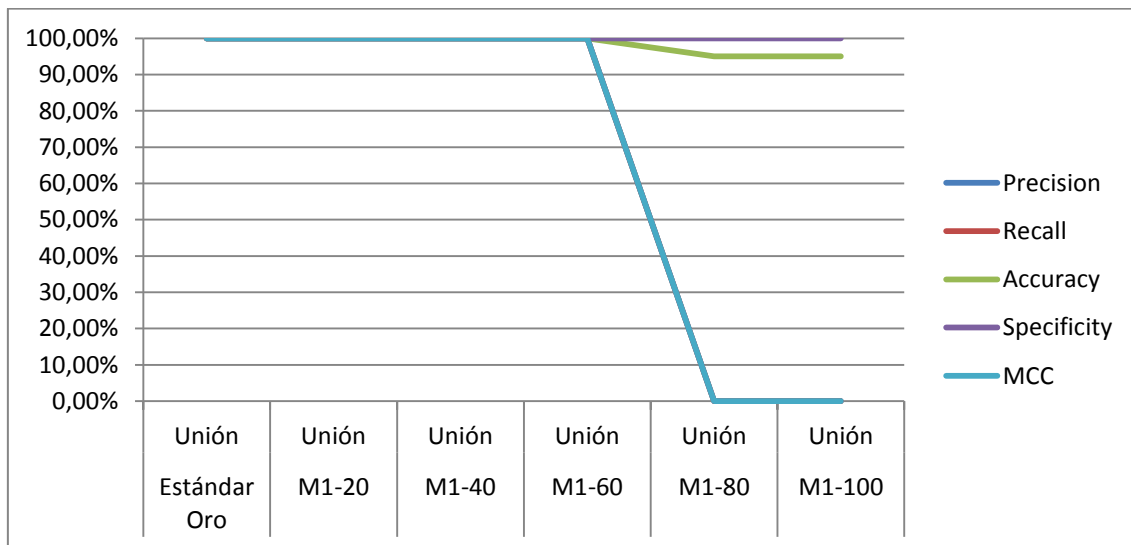


Figura. 82. Resultado Asma. M1. Unión

Asma					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 64. Resultado Asma. M2 y M3. Intersección

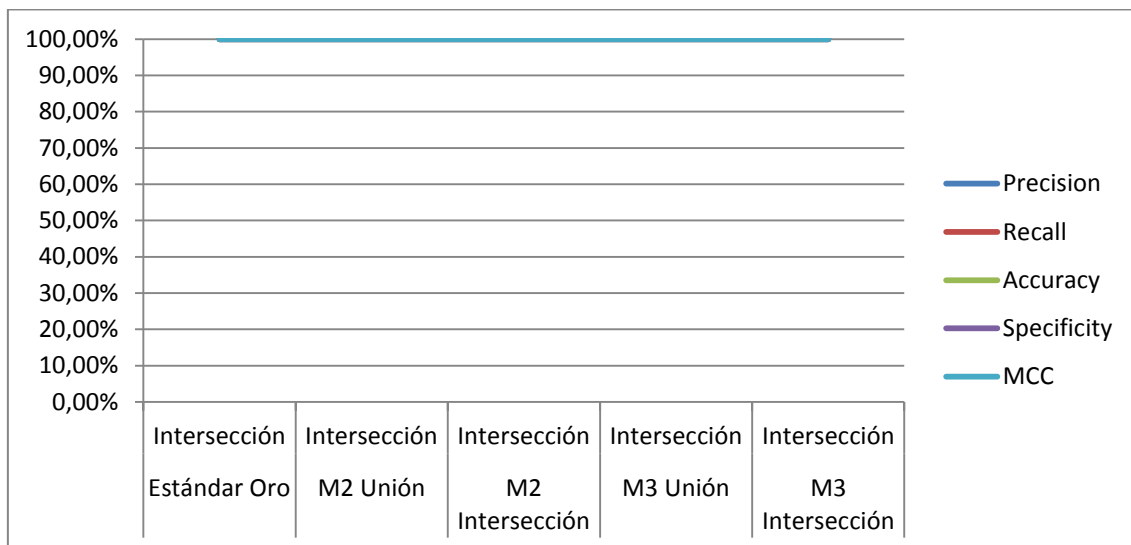


Figura. 83. Resultado Asma. M2 y M3. Intersección

Asma					
	Estándar Oro	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 65. Resultado Asma. M2 y M3. Unión

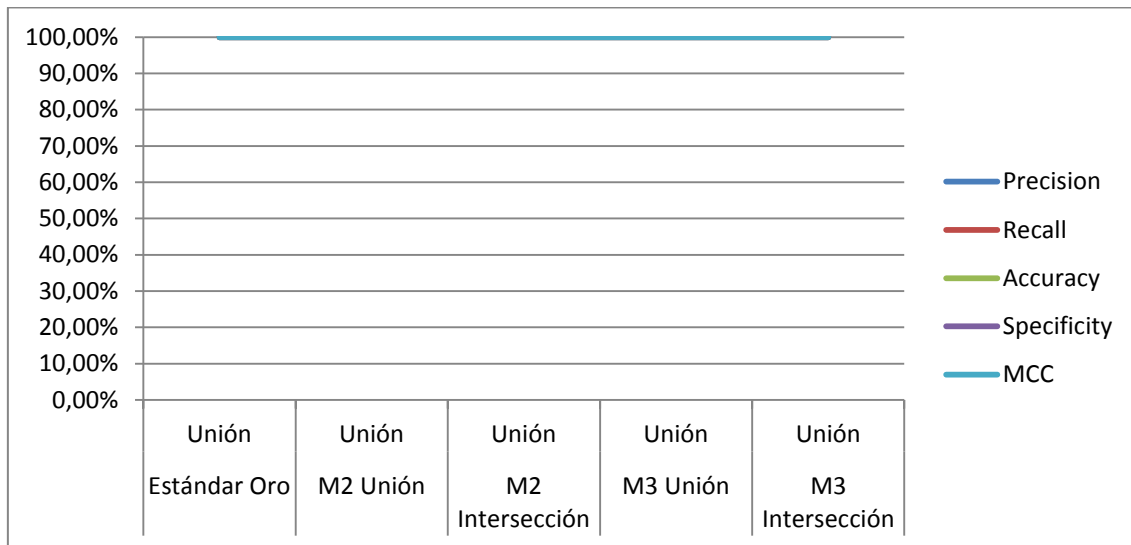


Figura. 84. Resultado Asma. M2 y M3. Unión

Resfriado Común						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	66,67%	66,67%	66,67%	66,67%	66,67%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	50,00%
Accuracy	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
Specificity	94,44%	94,44%	94,44%	94,44%	94,44%	100,00%
MCC	89,67%	89,67%	89,67%	89,67%	89,67%	84,41%

Tabla 66. Resultado Resfriado Común. M1. Intersección

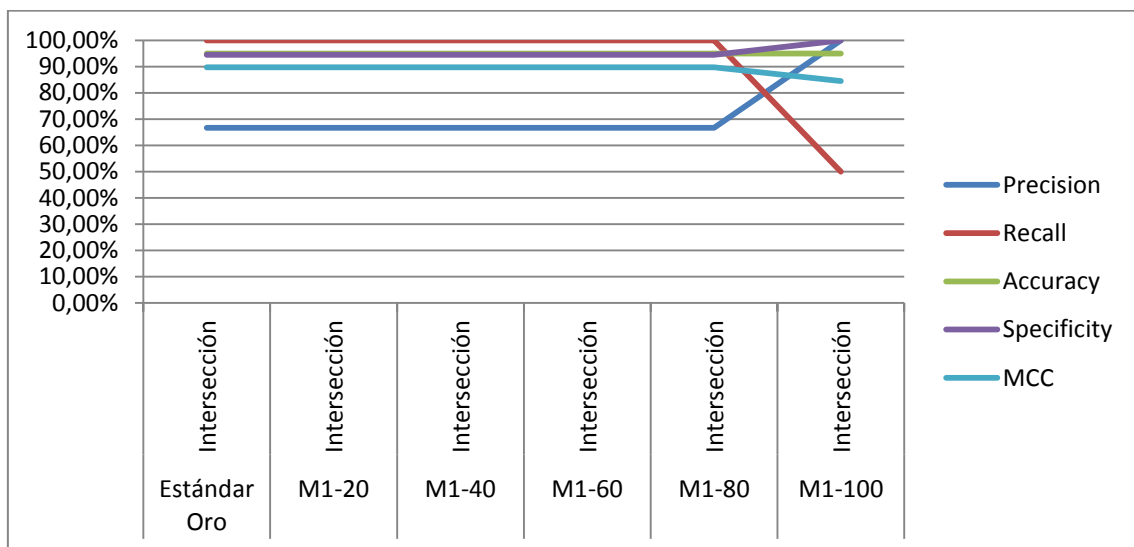


Figura. 85. Resultado Resfriado Común. M1. Intersección

Resfriado Común						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	33,33%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	90,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	77,31%

Tabla 67. Resultado Resfriado Común. M1. Unión

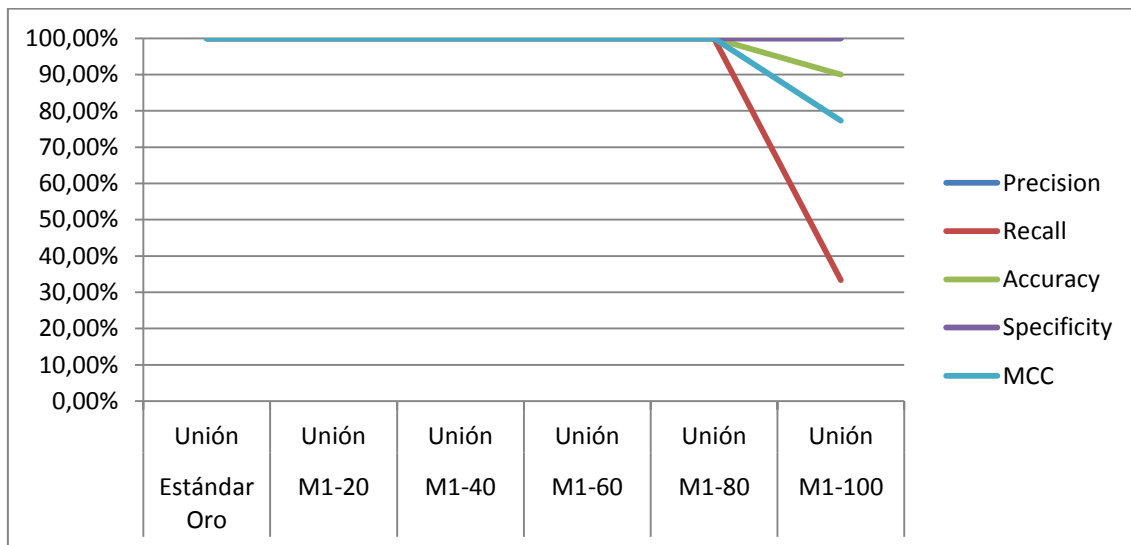


Figura. 86. Resultado Resfriado Común. M1. Unión

Resfriado Común					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	66,67%	66,67%	66,67%	66,67%	66,67%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
Specificity	94,44%	94,44%	94,44%	94,44%	94,44%
MCC	89,67%	89,67%	89,67%	89,67%	89,67%

Tabla 68. Resultado Resfriado Común. M2 y M3. Intersección

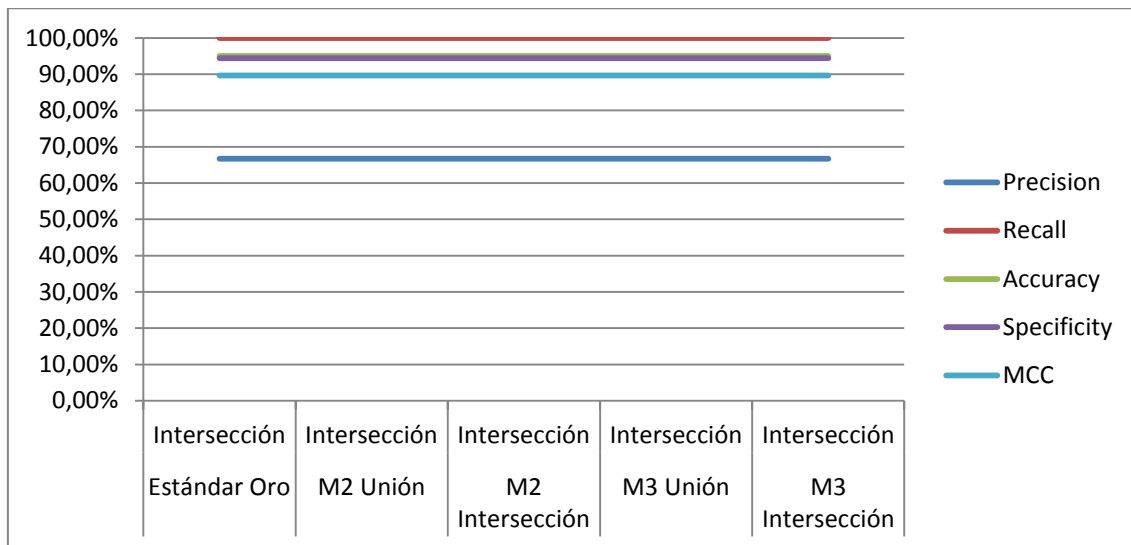


Figura. 87. Resultado Resfriado Común. M2 y M3. Intersección

Resfriado Común					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 69. Resultado Resfriado Común. M2 y M3. Unión

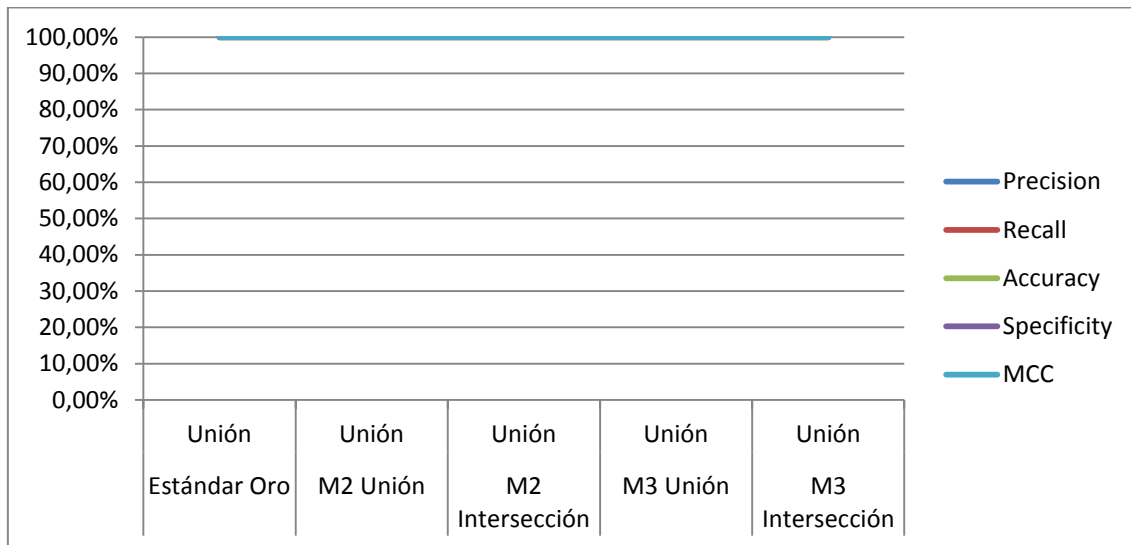


Figura. 88. Resultado Resfriado Común. M2 y M3. Unión

Pancreatitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	100,00%	100,00%
Specificity	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	100,00%	100,00%
MCC						

Tabla 70. Resultado Pancreatitis. M1. Intersección

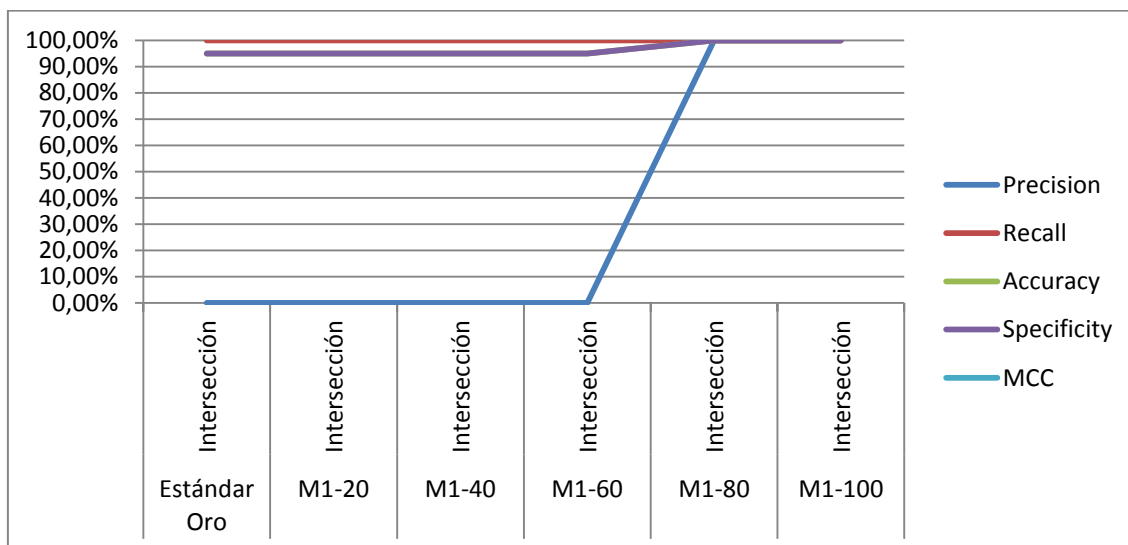


Figura. 89. Resultado Pancreatitis. M1. Intersección

Pancreatitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%

Tabla 71. Resultado Pancreatitis. M1. Unión

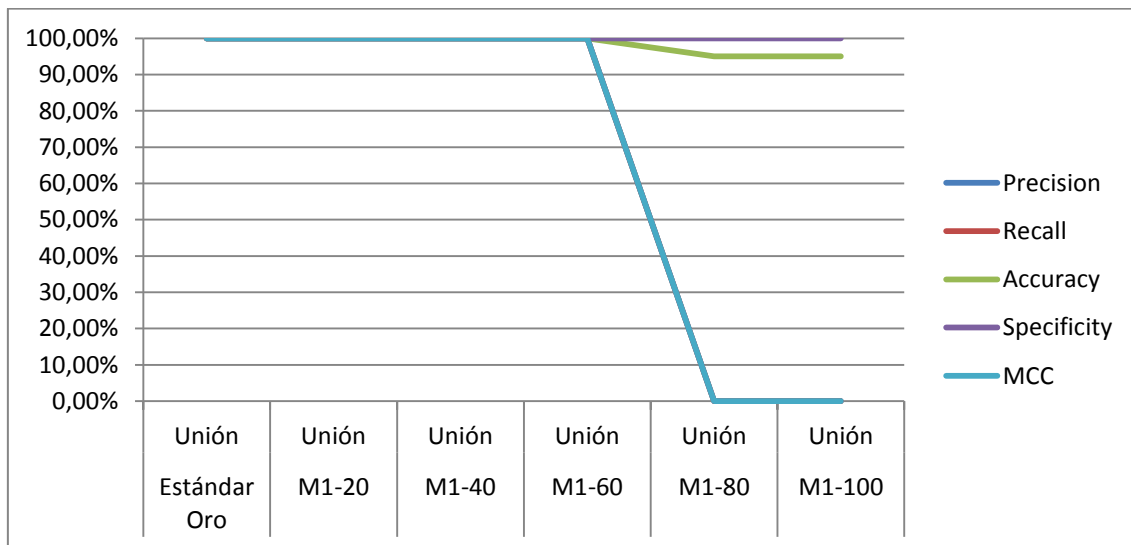


Figura. 90. Resultado Pancreatitis. M1. Unión

Pancreatitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
Specificity	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
MCC					

Tabla 72. Resultado Pancreatitis. M2 y M3. Intersección

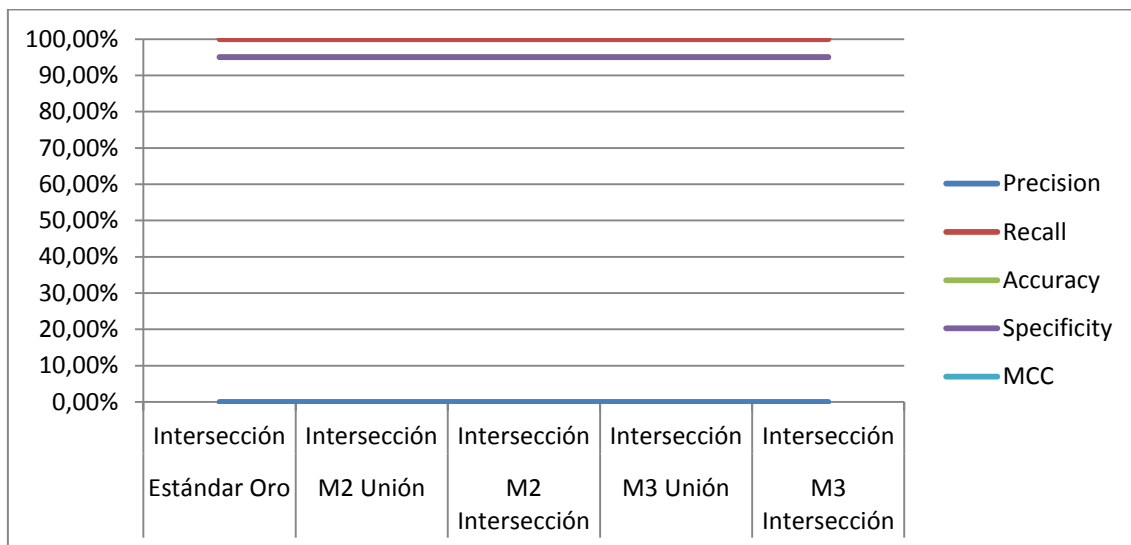


Figura. 91. Resultado Pancreatitis. M2 y M3. Intersección

Pancreatitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 73. Resultado Pancreatitis. M3 y M3. Unión

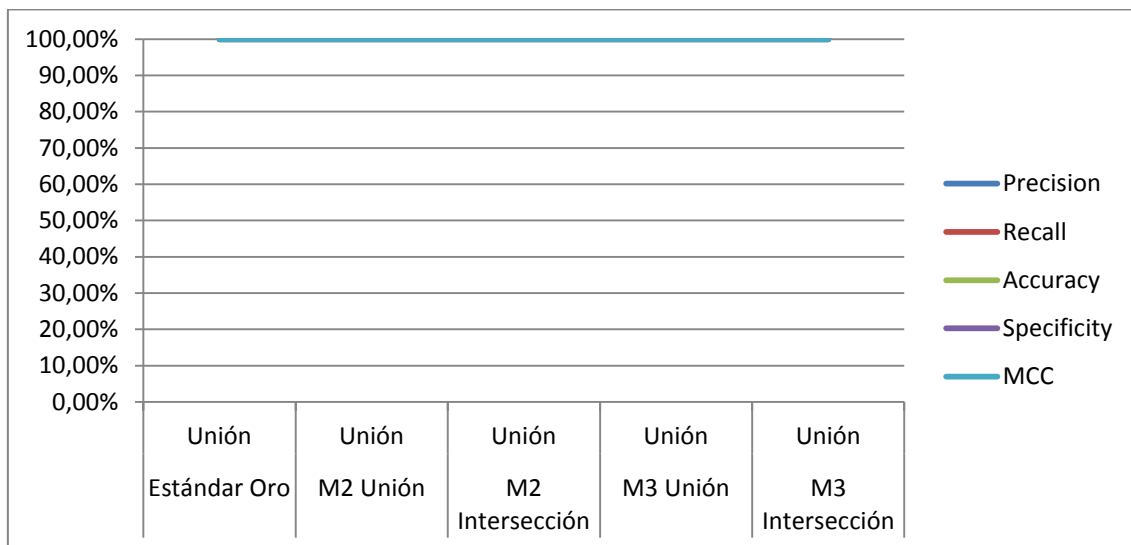


Figura. 92. Resultado Pancreatitis. M3 y M3. Unión

Sinusitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	66,67%	66,67%	100,00%	100,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	50,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	95,00%	100,00%	95,00%	90,00%
Specificity	100,00%	94,44%	94,44%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	89,67%	89,67%	100,00%	84,41%	0,00%

Tabla 74. Resultado Sinusitis. M1. Intersección

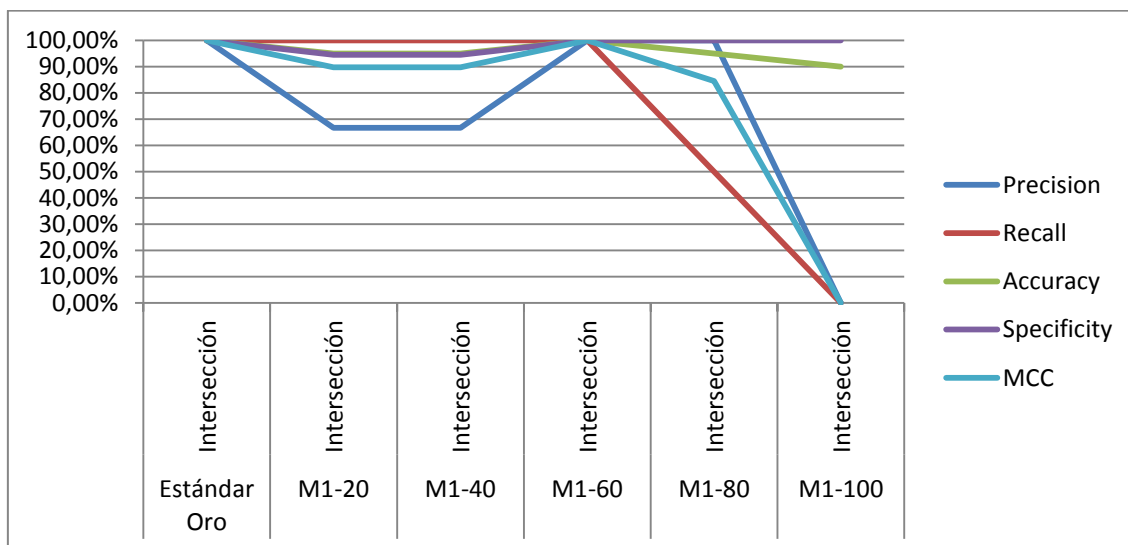


Figura. 93. Resultado Sinusitis. M1. Intersección

Sinusitis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	66,67%	66,67%	100,00%	100,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	50,00%	0,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	95,00%	100,00%	95,00%	90,00%
Specificity	100,00%	94,44%	94,44%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	89,67%	89,67%	100,00%	84,41%	0,00%

Tabla 75. Resultado Sinusitis. M1. Unión

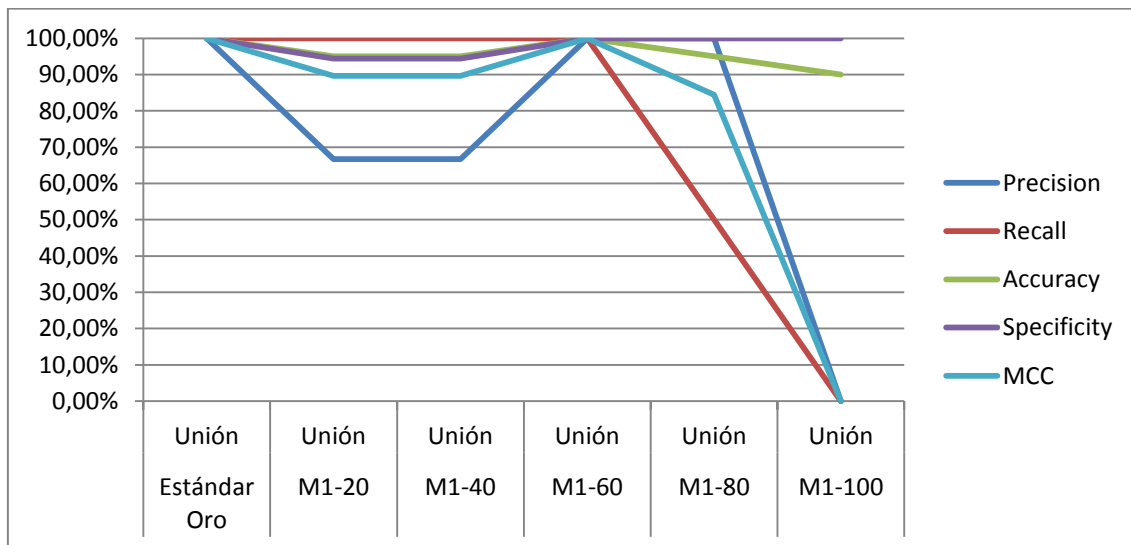


Figura. 94. Resultado Sinusitis. M1. Unión

Sinusitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 76. Resultado Sinusitis. M2 y M3. Intersección

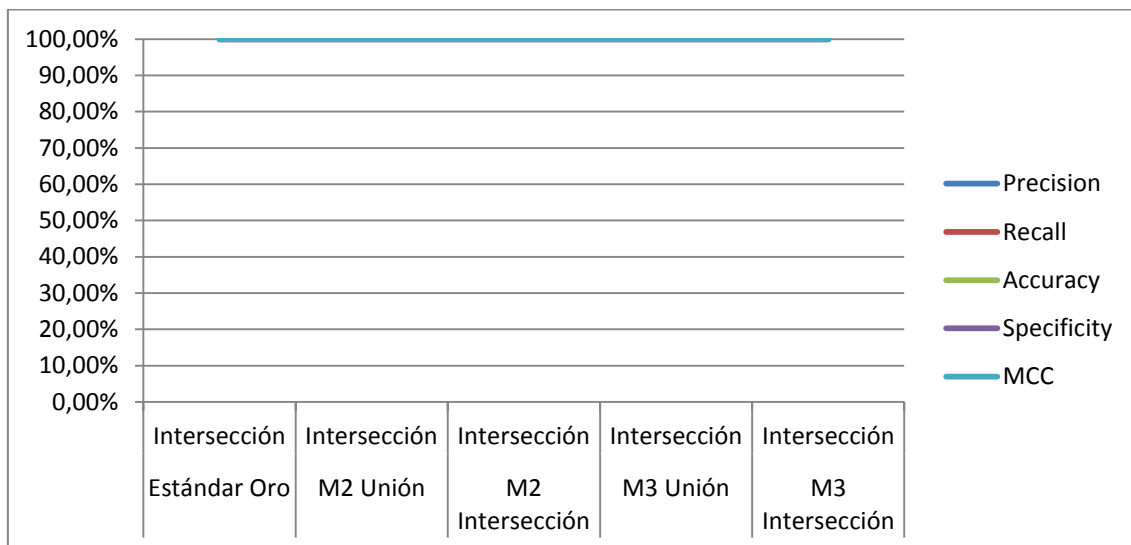


Figura. 95. Resultado Sinusitis. M2 y M3. Intersección

Sinusitis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Specificity	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 77. Resultado Sinusitis. M2 y M3. Unión

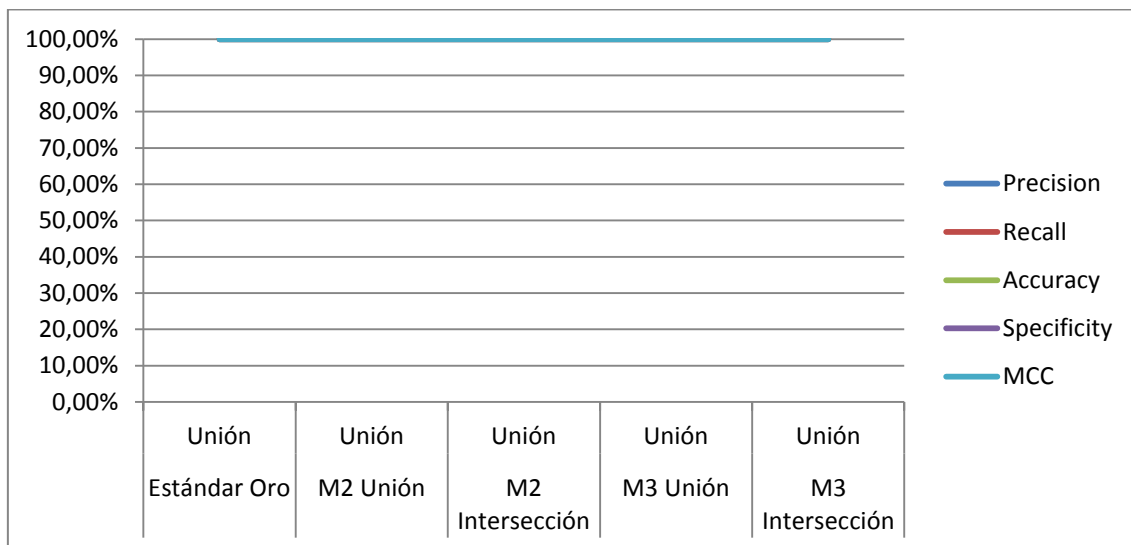


Figura. 96. Resultado Sinusitis. M2 y M3. Unión

Tuberculosis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	100,00%
Specificity	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	100,00%
MCC						

Tabla 78. Resultado Tuberculosis. M1. Intersección

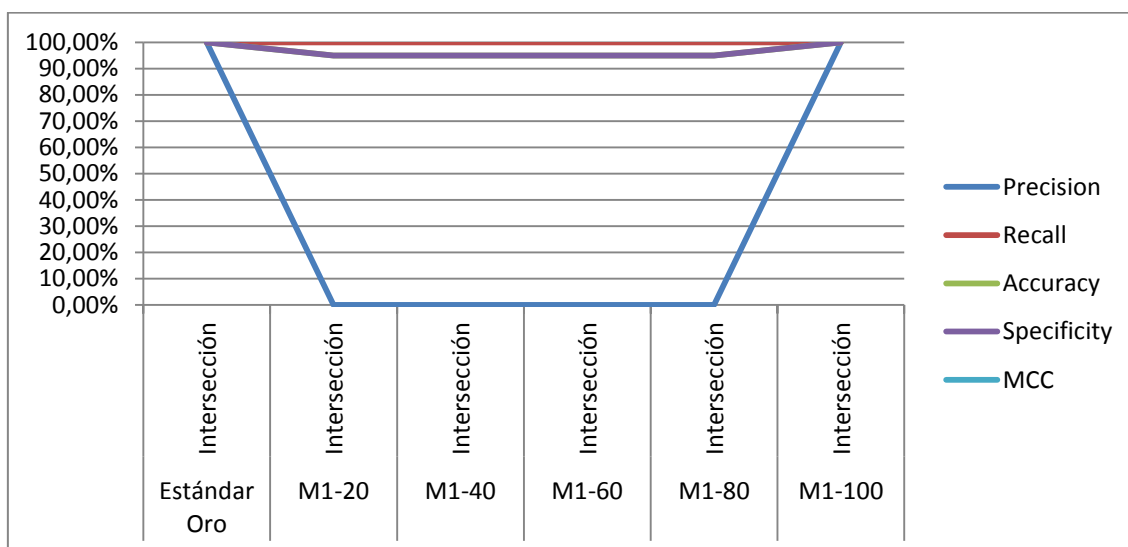


Figura. 97. Resultado Tuberculosis. M1. Intersección

Tuberculosis						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	100,00%
Specificity	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	100,00%
MCC						

Tabla 79. Resultado Tuberculosis. M1. Unión

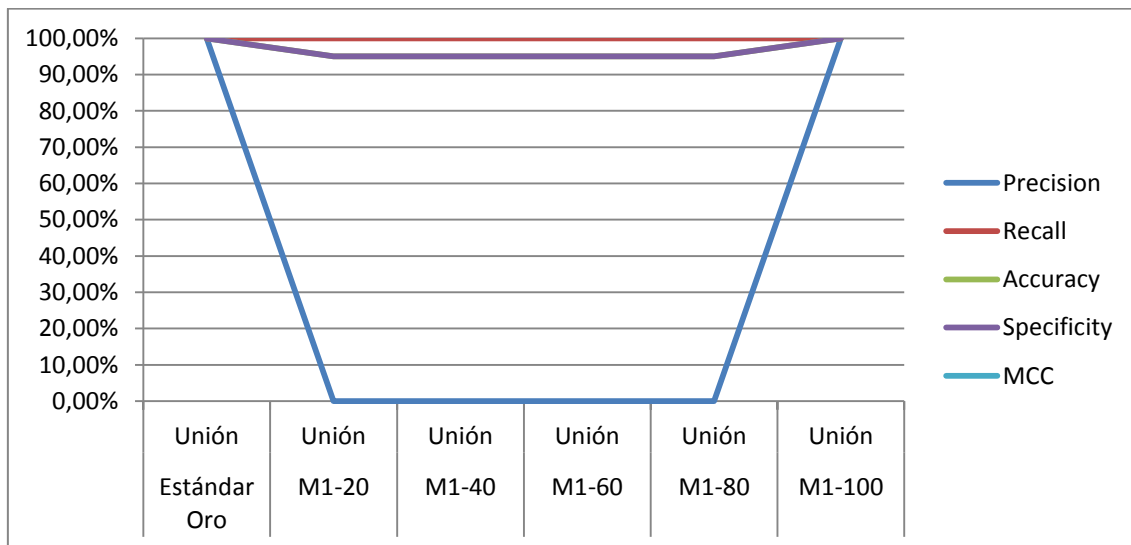


Figura. 98. Resultado Tuberculosis. M1. Unión

Tuberculosis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección	Intersección
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
MCC					

Tabla 80. Resultado Tuberculosis. M2 y M3. Intersección

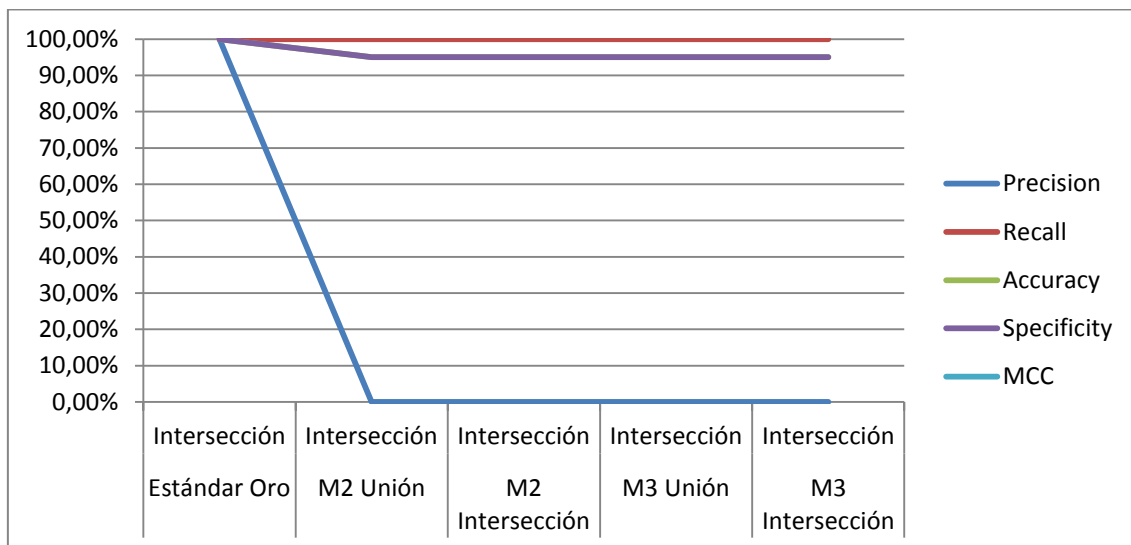


Figura. 99. Resultado Tuberculosis. M2 y M3. Intersección

Tuberculosis					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
	Unión	Unión	Unión	Unión	Unión
Precision	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
Specificity	100,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%
MCC					

Tabla 81. Resultado Tuberculosis. M2 y M3. Unión

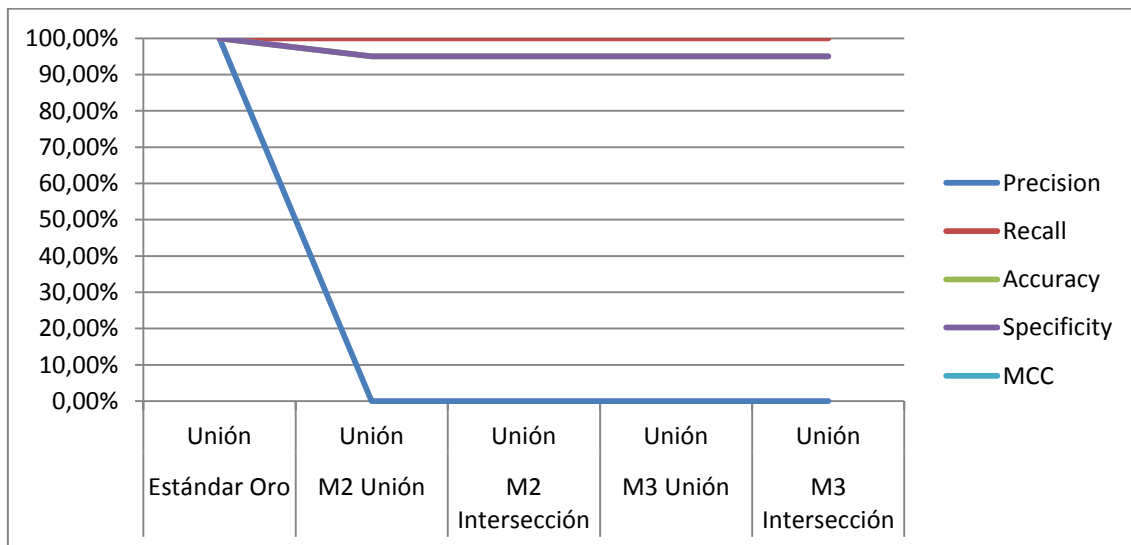


Figura. 100. Resultado Tuberculosis. M2 y M3. Unión

Global Intersección						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
Precision	73,33%	46,67%	46,67%	53,33%	53,33%	60,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	70,00%	50,00%
Accuracy	98,00%	96,00%	96,00%	97,00%	96,00%	96,00%
Specificity	97,89%	95,78%	95,78%	96,89%	97,89%	100,00%
MCC	96,56%	93,12%	93,12%	96,56%	58,03%	28,14%

Tabla 82. Experimento 2. Resultado global. M1. Intersección

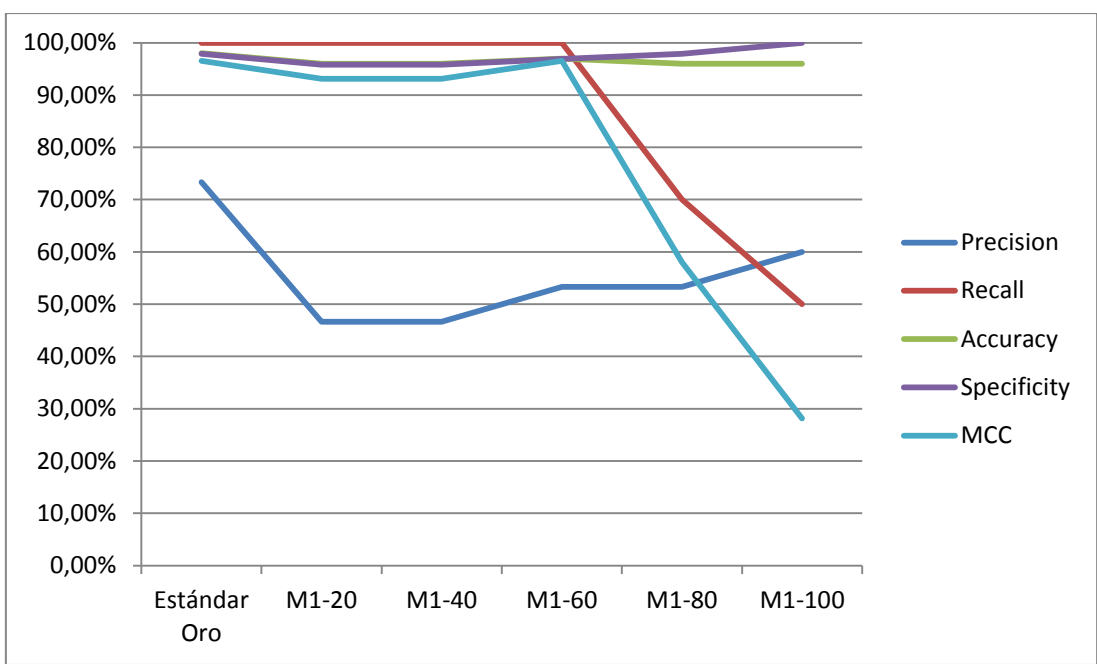


Figura. 101. Experimento 2. Resultado global. M1. Intersección

Global Unión						
	EO	M1-20	M1-40	M1-60	M1-80	M1-100
Precision	100,00%	73,33%	73,33%	80,00%	40,00%	40,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	50,00%	26,67%
Accuracy	100,00%	98,00%	98,00%	99,00%	96,00%	94,00%
Specificity	100,00%	97,89%	97,89%	99,00%	99,00%	100,00%
MCC	100,00%	97,42%	97,42%	100,00%	46,10%	19,33%

Tabla 83. Experimento 2. Resultado global. M1. Unión

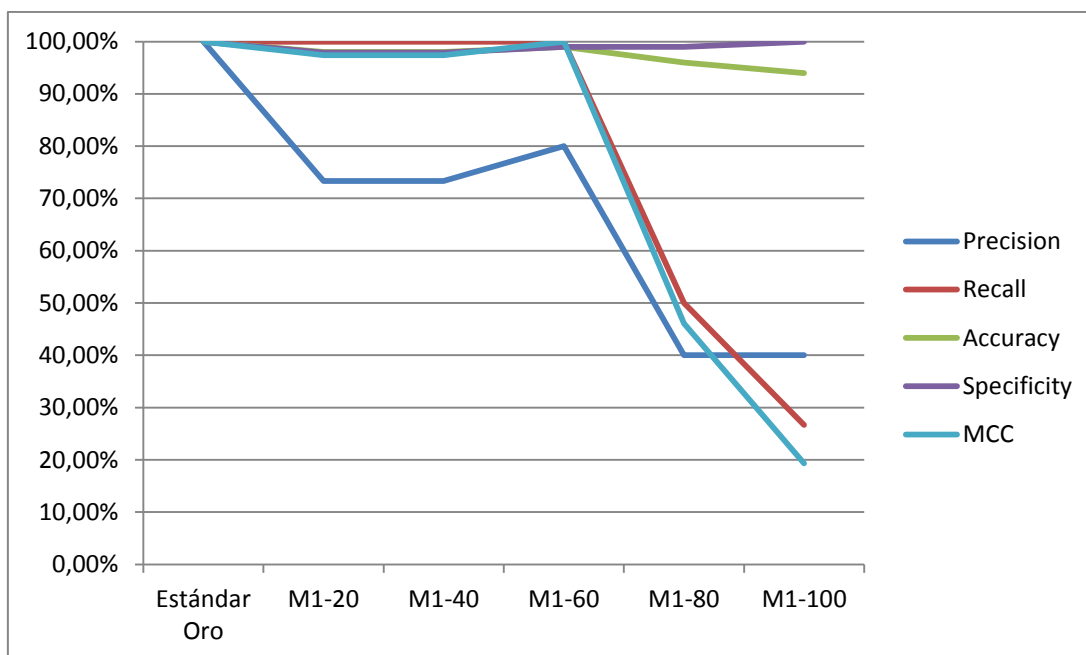


Figura. 102. Experimento 2. Resultado global. M1. Unión

Global Intersección					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
Precision	73,33%	53,33%	53,33%	53,33%	53,33%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	98,00%	97,00%	97,00%	97,00%	97,00%
Specificity	97,89%	96,89%	96,89%	96,89%	96,89%
MCC	96,56%	96,56%	96,56%	96,56%	96,56%

Tabla 84. Experimento 2. Resultado global. M2 y M3. Intersección

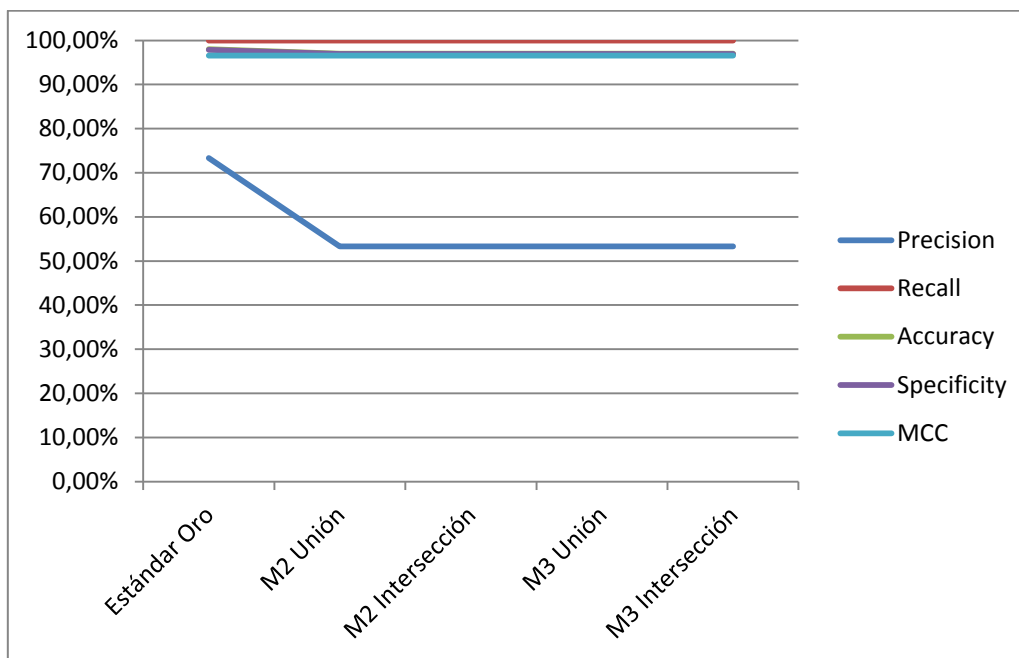


Figura. 103. Experimento 2. Resultado global. M2 y M3. Intersección

Global Unión					
	EO	M2 Unión	M2 Intersección	M3 Unión	M3 Intersección
Precision	100,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%
Recall	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Accuracy	100,00%	99,00%	99,00%	99,00%	99,00%
Specificity	100,00%	99,00%	99,00%	99,00%	99,00%
MCC	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 85. Experimento 2. Resultado global. M2 y M3. Unión

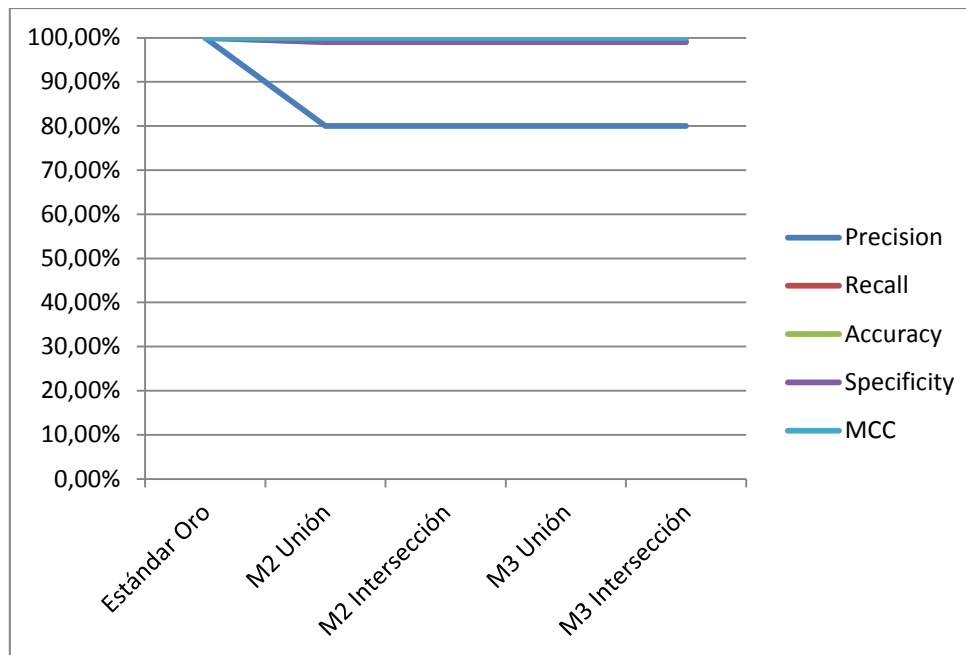


Figura. 104. Experimento 2. Resultado global. M2 y M3. Unión