



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN

***DETECCIÓN DE ENFERMEDADES DE LA
RETINA QUE PROPENDEN A LA CEGUERA***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA:

ISC. BRYAN IRVING SANTOS PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EDGARDO MANUEL FELIPE RIVERÓN

MÉXICO, D.F., JUNIO DE 2009



SIP-14

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 16:30 horas del día 11 del mes de Junio de 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

Centro de Investigación en Computación

para examinar la tesis de grado titulada:

"DETECCIÓN DE ENFERMEDADES DE LA RETINA QUE PROPENDEN A LA CEGUERA"

SANTOS (Apellido Paterno)	PÉREZ (Apellido Materno)	BRYAN IRVING (Nombre)
Con registro: A 0 7 0 2 4 7		

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Presidente



Dr. Oleksiy Pogrebnyak

Secretario



Dr. Juan Humberto Sosa Azuela

**Primer vocal
(Director)**



Dr. Edgardo Manuel Felipe Riverón

Segundo vocal



Dra. Nareli Cruz Cortés

Tercer vocal



Dra. Sandra Ortiz Yáñez

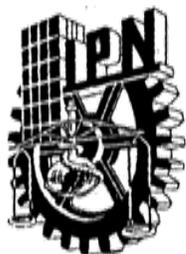
Suplente



Dr. Rbardo Barrón Fernández

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


 INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
 CENTRO DE INVESTIGACION
 EN COMPUTACION
 DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 17 del mes Junio del año 2009, el (la) que suscribe Bryan Irving Santos Pérez alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias de la Computación con número de registro A070247, adscrito a Laboratorio de Reconocimiento de Patrones, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de el Dr. Edgardo Manuel Felipe Riverón y cede los derechos del trabajo intitulado Detección de enfermedades de la retina que propenden a la ceguera, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección spbi310884@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Bryan Irving Santos Pérez

Nombre y firma

Resumen

El presente trabajo de tesis constituye una parte de un sistema integral denominado *Sistema de análisis masivo de retinas humanas*, que contribuirá en un futuro próximo a prevenir la ceguera provocada por diversas enfermedades, a saber: el glaucoma, la retinopatía diabética, la retinopatía hipertensiva, la retinosis pigmentaria y la degeneración macular dependiente de la edad. Nuestro subsistema analiza de forma ponderada los factores de riesgo de los pacientes con la retina alterada, para detectar a tiempo la incidencia de alguna(s) de las cinco principales enfermedades de la retina mencionadas que propenden a la ceguera en el humano.

El análisis que realiza el subsistema sobre los factores de riesgo de estas enfermedades se basa en la denominada lógica difusa. Existen básicamente tres fuentes de las que se obtienen dichos factores: de la anamnesis y de la historia clínica, de las mediciones directas que se le hacen al paciente y finalmente del análisis de cuatro imágenes oftalmoscópicas de su retina. Esto último nos proporcionará información sobre la presencia en la retina de algunas de las afecciones asociadas a cada una de estas cinco enfermedades que se pretenden prediagnosticar.

Como resultado el subsistema nos ayudará a detectar a tiempo estas enfermedades, con el fin de brindarle al paciente un prediagnóstico con una recomendación final dentro de las tres categorías diagnósticas siguientes: 1. La retina es normal; 2. Debe acudir al oftalmólogo al menos una vez cada seis meses; 3. Debe acudir al oftalmólogo urgentemente.

Abstract

The thesis work presented in these pages, constitutes a part of an integral system named *System for massive analysis of human retinas* that will contribute in a near future to prevent the blindness caused by several retina diseases, namely, glaucoma, diabetic retinopathy, hypertensive retinopathy, retinitis pigmentosa and age-related macular degeneration. Our system analyzes in a pondered way, the risk factors of the patients with the retinal altered to detect opportunely the incidence of some of the five principal retinal diseases already mentioned above which tend to produce blindness in humans.

The analysis that the subsystem carries out on the risk factors is based on the fuzzy logic. Basically, there exist three sources from which we obtain them: the anamnesis and clinic history, the direct measurements done to the patient and finally the analysis of four ophthalmoscopic images from his retinas. The latest one will provide us information about some of the affections associated to each one of these five diseases which we prediagnose.

As a result, the subsystem will help us to detect opportunely these diseases, with the goal to give to the patient a prediagnosis with one final advice out of the three following categories listed below: 1. Normal retina; 2. You should go to the ophthalmologist at least once every six months; 3. You should go to the ophthalmologist urgently.

Dedicatoria

A Dios y a mi virgencita de Juquila por cuidarme, bendecirme y sobre todo iluminarme en este camino.

A mis padres por haber sabido guiar mis pasos, brindarme su apoyo y comprensión, pero sobre todo su cariño.

A mi hermana que siempre ha sido un ejemplo a seguir, por su esmero, excelencia y esfuerzo.

A mi niña Alesita Ríos Sánchez, que formó parte muy importante en esta etapa de mi vida.

A mis amigos y a todos aquellos que de alguna manera me han dado su apoyo para cumplir mis metas.

Agradecimientos

Al Doctor Edgardo Manuel Felipe Riverón por haberme dado la oportunidad de trabajar bajo su dirección, y así haber podido escuchar sus valiosos consejos, no sólo en lo profesional sino también para la vida cotidiana, así como por compartir sus conocimientos y experiencias en favor de la realización de este gran proyecto.

A la Doctora Sandra Ortiz Yáñez por habernos apoyado con sus conocimientos y experiencia a fin de realizar un trabajo de excelencia.

Al doctor Oleksiy Pogrebnyak por su apoyo y confianza.

A los doctores Juan Humberto Sossa Azuela, Ricardo Barrón Fernández y Nareli Cruz Cortés, por sus valiosas observaciones hechas en favor de esta tesis.

Al Instituto Politécnico Nacional, al Centro de Investigación en Computación, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Coordinación General de Posgrado e Investigación, por todos los apoyos económicos brindados para la realización de mis estudios.

A la fortuna de estar vivo y con salud, para lograr lo que nos propusimos.

Contenido

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
CONTENIDO	8
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABLAS	16
GLOSARIO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	19
GLOSARIO DE TÉRMINOS	20
CAPÍTULO 1	24
INTRODUCCIÓN	24
1.1 EL PROBLEMA A RESOLVER	25
1.2 JUSTIFICACIÓN	25
1.3 HIPÓTESIS	26
1.4 OBJETIVO GENERAL	26
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
1.6 ANTECEDENTES	27
1.7 ESTADO DEL ARTE	28
1.7.1 Sistemas de análisis de retinas	28
1.7.2 Sistemas expertos	31
1.8 MEDIOS UTILIZADOS	34
1.9 APOYOS	34
1.10 CONTRIBUCIONES	34
1.11 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	35
CAPÍTULO 2	36
MARCO TEÓRICO	36
SECCIÓN 1. SISTEMAS EXPERTOS DIFUSOS	36
2.1.1 Introducción	37
2.1.2 Conjuntos difusos	38
2.1.3 Funciones de membresía de conjuntos difusos	40
2.1.4 Variable lingüística	43
2.1.5 Particiones difusas	44
2.1.6 Medidas difusas	44
2.1.7 Operaciones difusas	45
2.1.8 Inferencia difusas	46
2.1.8.1 Principio de extensión	46
2.1.8.2 Relación difusa	46
2.1.8.3 Modus ponens generalizado y modus tolens generalizado	47
2.1.8.4 Implicación difusa	48
2.1.9 Reglas difusas	48
2.1.10 Dispositivos de inferencia difusa	49
2.1.11 Fusificador (fuzzifier)	50

2.1.12 Defusificador (<i>defuzzifier</i>).....	51
2.1.13 Desarrollo de sistemas difusos	52
2.1.13.1 Opciones más habituales en el desarrollo de sistemas difusos	52
SECCIÓN 2. OFTALMOLOGÍA.....	54
2.2.1 El glaucoma.....	54
2.2.1.1 Tipos de glaucoma.....	55
2.2.1.1.1 El glaucoma primario de ángulo cerrado.....	55
2.2.1.1.2 El glaucoma primario de ángulo abierto.....	57
2.2.1.2 Factores de riesgo para el glaucoma	59
2.2.1.3 Exámenes para detectar el glaucoma	62
2.2.2 La retinopatía diabética.....	63
2.2.2.1 Tipos de retinopatía	64
2.2.2.2 Exámenes para detectar la retinopatía diabética.....	66
2.2.3 La retinopatía hipertensiva	66
2.2.3.1 Manifestaciones	67
2.2.3.2 Grados de la retinopatía hipertensiva.....	68
2.2.4 La retinosis pigmentaria	71
2.2.4.1 Tipos de retinosis pigmentaria	71
2.2.4.2 Clasificación de la retinosis pigmentaria	72
2.2.4.3 Manifestaciones clínicas.....	73
2.2.4.4 Diagnóstico	73
2.2.4.5 Pruebas diagnósticas.....	74
2.2.5 La Degeneración Macular Dependiente de la Edad (<i>DMDE</i>).....	75
2.2.5.1 Tipos de DMDE.....	76
2.2.5.2 Síntomas de la DMDE.....	79
2.2.5.3 Factores de riesgo de la DMDE	80
2.2.5.4 Exámenes para detectar la DMDE	81
CAPÍTULO 3.....	82
SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	82
3.1 SISTEMA DIFUSO	82
3.2 MÓDULO GLAUCOMA	83
3.2.1 Operación intraocular	85
3.2.2 Presión intraocular.....	85
3.2.3 Tamaño de la excavación o copa.....	86
3.2.4 Desplazamiento del racimo vascular.....	87
3.2.5 Hemorragia del disco óptico.....	87
3.2.6 Enrojecimiento de los ojos	88
3.2.7 Fumar.....	88
3.2.8 Frecuencia de los síntomas	89
3.2.9 Familia con glaucoma.....	89
3.2.10 Tipo de Visión.....	90
3.2.11 Edad	90
3.2.12 Metodología.....	91
3.3 MÓDULO RETINOPATÍA DIABÉTICA	94
3.3.1 Diabético	96
3.3.2 Neovascularización.....	96
3.3.3 Edema macular.....	96

3.3.4 Años con diabetes	97
3.3.5 Región de microaneurismas	98
3.3.6 Exudados duros.....	98
3.3.7 Región de exudados duros.....	99
3.3.8 Número de exudados duros	99
3.3.9 Tipo de visión.....	100
3.3.10 Microaneurismas	101
3.3.11 Número de microaneurismas.....	101
3.3.12 Gotas de sangre	102
3.3.13 Región de las gotas de sangre	102
3.3.14 Metodología.....	103
3.4 MÓDULO RETINOPATÍA HIPERTENSIVA	104
3.4.1 Hipertenso	105
3.4.2 Esclerosis arterial.....	105
3.4.3 Vasoconstricción.....	106
3.4.4 Eclampsia	106
3.4.5 Relación arteria – vena anormal	106
3.4.6 Extravasación	107
3.4.7 Región de hemorragias en llama	107
3.4.8 Hemorragias en llama.....	108
3.4.9 Número de hemorragias en llama.....	108
3.4.10 Preeclampsia	109
3.4.11 Feocromocitoma	109
3.4.12 Exudados suaves	110
3.4.13 Número de exudados suaves.....	110
3.4.14 Exudados duros.....	111
3.4.15 Número de exudados duros	111
3.4.16 Región de exudados duros.....	112
3.4.17 Hilo de cobre	113
3.4.18 Hilo de plata	113
3.4.19 Región de exudados suaves	113
3.4.20 Tipo de visión.....	114
3.4.21 Edema macular	114
3.4.22 Brillo arteriolar	115
3.4.23 Edema papilar.....	115
3.4.24 Metodología.....	116
3.5 MÓDULO RETINOSIS PIGMENTARIA	117
3.5.1 Familia con retinosis pigmentaria.....	118
3.5.2 Pérdida de bastones y conos	118
3.5.3 Proliferación del epitelio.....	119
3.5.4 Ceguera nocturna	119
3.5.5 Deslumbramiento.....	120
3.5.6 Edad	120
3.5.7 Tipo de Visión.....	120
3.5.8 Bilateral.....	121
3.5.9 Espículas	121

3.5.10 Región de espículas.....	122
3.5.11 Dibujo reticular ramificado.....	122
3.5.12 Sordera	123
3.5.13 Trastornos endocrinos.....	123
3.5.14 Palidez de la papila óptica	123
3.5.15 Fumar	124
3.5.16 Tomar	124
3.5.17 Estrés	124
3.5.18 Metodología.....	125
3.6 MÓDULO DEGENERACIÓN MACULAR DEPENDIENTE DE LA EDAD	126
3.6.1 Tipo de visión.....	127
3.6.2 Pérdida de distinción de colores	127
3.6.3 Drusas	128
3.6.4 Región de las drusas	128
3.6.5 Región de hemorragias	129
3.6.6 Edad	130
3.6.7 Necesidad de más luz	130
3.6.8 Género.....	131
3.6.9 Ojos de color claro	131
3.6.10 Fumar.....	132
3.6.11 Hemorragias	132
3.6.12 Exudados duros.....	132
3.6.13 Región de exudados duros.....	133
3.6.14 Metodología.....	134
3.7 DESCRIPCIÓN BREVE Y GENERAL DE LA INTERFAZ GRÁFICA	135
CAPÍTULO 4.....	136
EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	136
4.1 RESULTADO DEL MÓDULO GLAUCOMA.....	136
4.2 RESULTADO DEL MÓDULO RETINOPATÍA DIABÉTICA	140
4.3 RESULTADO DEL MÓDULO RETINOPATÍA HIPERTENSIVA.....	144
4.4 RESULTADO DEL MÓDULO RETINOSIS PIGMENTARIA.....	150
4.5 RESULTADO DEL MÓDULO DEGENERACIÓN MACULAR DEPENDIENTE DE LA EDAD	155
CAPÍTULO 5.....	160
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	160
5.1 CONCLUSIONES	160
5.2 RECOMENDACIONES	161
5.3 TRABAJOS FUTUROS	162
REFERENCIAS.....	163
APÉNDICE A.....	168
FAMS PARA EL GLAUCOMA	168
FAMS PARA LA RETINOPATÍA DIABÉTICA.....	174
FAMS PARA LA RETINOPATÍA HIPERTENSIVA	180
FAMS PARA LA RETINOSIS PIGMENTARIA	196
FAMS PARA LA DMDE	203

Lista de figuras

Fig. 1 Ejemplo de cómo los conjuntos difusos se combinan en reglas para definir acciones.	37
Fig. 2 Ejemplo de conjuntos difusos para la variable Estatura.	38
Fig. 3 En este diagrama de Venn, los puntos azules pertenecen por completo al conjunto A y los puntos rojos absolutamente al conjunto B.	38
Fig. 4 Si se tratara de simular un diagrama de Venn en los conjuntos difusos, se vería de la forma en que se presenta en esta imagen, donde no hay una línea que delimite a los conjuntos A y B. Esto hace difícil decir qué punto azul pertenece al conjunto A y qué punto al conjunto B.	38
Fig. 5 Funciones de membresía de conjuntos clásico (izquierdo) y difuso (derecha) para edad adulta. Una persona de 25 años en términos clásicos habría que definirla como adulta o no adulta; en términos difusos podría decirse que se incluye en aproximadamente un 0.5 (50%) al conjunto edad adulta.....	39
Fig. 6 Términos relativos a los conjuntos difusos.	40
Fig. 7 Función de membresía de tipo trapezoidal.	40
Fig. 8 Función de tipo Singleton	41
Fig. 9 Función de tipo T (triangular).	42
Fig. 10 Función de tipo S.	42
Fig. 11 Función de membresía de tipo π (con forma de campana).....	43
Fig. 12 Diagrama del corte transversal del globo ocular.....	54
Fig. 13 Diagrama que indica el recorrido del humor acuoso.	55
Fig. 14 Ángulo cerrado crónico con sinequias y adherencias. A la izquierda, un ángulo camerular normal para comparar.....	56
Fig. 15 En el glaucoma de bloqueo ciliar, el humor acuoso es dirigido hacia la cámara vítrea.	57
Fig. 16 El edema de la cámara vítrea empuja el diafragma del iris hacia adelante y da lugar al cierre del seno camerular.	57
Fig. 17 GPAA: hay una transición gradual desde el glaucoma de presión alta; no existen niveles de presión definidos de forma precisa que separen a los dos.	57
Fig. 18 Cabeza del nervio óptico que muestra claramente el daño glaucomatoso en un paciente con PIO elevada.....	58
Fig. 19 Cabeza del nervio óptico que muestra claramente el daño glaucomatoso en un paciente con PIO normal.....	58
Fig. 20 La presión intraocular aumenta con la edad. El daño glaucomatoso puede ocurrir en cualquier momento. Debido a que es irreversible, el número de pacientes que tienen daño glaucomatoso aumenta entre la población de mayor edad.....	59
Fig. 21 Cuanto más alta sea la PIO, con mayor frecuencia se producirá el desarrollo del daño glaucomatoso. La sección gris representa la presión normal.....	59
Fig. 22 Como el daño glaucomatoso es irreversible, su predominio aumenta con la edad.	60

Fig. 23 El daño glaucomatoso es más frecuente entre las personas de raza africana que entre los caucásicos...... 60

Fig. 24 Papila normal relativamente pequeña...... 61

Fig. 25 Papila normal con excavación fisiológica relativamente grande...... 62

Fig. 26 Visión normal de una persona...... 62

Fig. 27 Visión de una persona que tiene glaucoma...... 62

Fig. 28 Visión de una persona que ve normal...... 65

Fig. 29 Visión de una persona con retinopatía diabética...... 65

Fig. 30 Retinopatía hipertensiva...... 67

Fig. 31 Arteriosclerosis de los vasos de la retina. La pared de los vasos arteriales está engrosada y opaca.... 68

Fig. 32 Arteriosclerosis de los vasos de la retina. La esclerosis de los vasos retinales se presenta con engrosamiento de la pared y desaparición de la visibilidad de la columna sanguínea. Las venas aparecen dilatadas y hay un edema en el área macular...... 68

Fig. 33 Retinopatía hipertensiva. Los hechos adicionales de hipertensión son un disco duro y exudados en forma de estrella en la mácula...... 69

Fig. 34 Retinopatía hipertensiva. Las arterias rectas adelgazadas, aumento del calibre de las venas, pequeñas hemorragias intrarretinales, exudados...... 69

Fig. 35 Retinopatía hipertensiva, manchas algodonosas. El calibre de las venas está aumentado en relación al de las arterias. Se visualizan varias manchas algodonosas y un discreto exudado...... 70

Fig. 36 Imágenes de fondo de ojo...... 71

Fig. 37 Pigmentación tipo espícula ósea (imagen revertida)...... 74

Fig. 38 Vasos arteriales estrechos y palidez cérica del disco, bilateralmente, acumulaciones de pigmento en la mediana periferia...... 75

Fig. 39 Arriba se aprecia la imagen normal y abajo cómo la vería un paciente con degeneración macular. La visión periférica está relativamente conservada, pero en el centro aparece una mancha que le imposibilita ver los detalles...... 75

Fig. 40 Croquis de un corte de un globo ocular donde se pueden observar la retina y la mácula en la parte central de la retina (como si se observara de frente)...... 76

Fig. 41 Los cambios de pigmentación es otra característica de la degeneración macular. En la imagen vemos pequeñas zonas puntiformes más oscuras y otras más claras...... 77

Fig. 42 Corte donde se puede observar la drusa debajo de la capa retiniana...... 77

Fig. 43 Imagen donde la mácula está plagada de manchas amarillentas, más o menos redondeadas de distinto tamaño. Son las drusas. Es una de las manifestaciones que indican que el epitelio pigmentario ya no funciona bien...... 78

Fig. 44 La estructura normal de la mácula se pierde y evoluciona hacia la atrofia, es decir, la ausencia de tejido. Queda con una zona donde ya no hay epitelio pigmentario ni retina que funcione...... 78

Fig. 45 Lesión de color blanco intenso en el centro de la retina. Es una cicatriz más blanca que la atrofia que hemos visto en la forma “seca” de la enfermedad. Alrededor de la cicatriz (por debajo y a los lados) vemos manchas rojas. Es sangre debida al sangrado de los vasos anómalos. 78

Fig. 46 Las palabras de una página se ven borrosas. 79

Fig. 47 En el centro de la imagen aparece un área oscura y vacía. 79

Fig. 48 Así es como se ve una rejilla de Amsler normalmente. 81

Fig. 49 Forma en que una persona con degeneración macular relacionada con la edad puede ver la rejilla de Amsler. 81

Fig. 50 Estructura interna de un sistema difuso..... 83

Fig. 51 Partición para las variables bivalentes del glaucoma con función de tipo **Singleton**. 84

Fig. 52 Particiones para la variable PIO con funciones de tipo trapezoidal. 86

Fig. 53 Particiones para la variable TamExca con funciones de tipo trapezoidal. 86

Fig. 54 Particiones para la variable DespVas con funciones de tipo trapezoidal..... 87

Fig. 55 Particiones para la variable FS con funciones de tipo trapezoidal. 89

Fig. 56 Particiones para la variable Edad con funciones de tipo trapezoidal. 91

Fig. 57 Particiones para la variable de salida PorcenEnfer con funciones de tipo trapezoidal. 92

Fig. 58 Partición para las variables bivalentes en la retinopatía diabática con función de tipo **Singleton**. 95

Fig. 59 Particiones para la variable AnioDiabet con funciones de tipo trapezoidal. 97

Fig. 60 Particiones para la variable RegMicro con funciones de tipo trapezoidal. 98

Fig. 61 Particiones para la variable RegExuD con funciones de tipo trapezoidal. 99

Fig. 62 Particiones para la variable NumExu con funciones de tipo trapezoidal. 100

Fig. 63 Particiones para la variable NumMicro con funciones de tipo trapezoidal. 101

Fig. 64 Particiones para la variable RegGotSan con funciones de tipo trapezoidal..... 102

Fig. 65 Partición para las variables bivalentes de la retinopatía hipertensiva con función de tipo **Singleton**. 105

Fig. 66 Particiones para la variable RegHemo con funciones de tipo trapezoidal..... 108

Fig. 67 Particiones para la variable NumHemo con funciones de tipo trapezoidal. 109

Fig. 68 Particiones para la variable NumExuS con funciones de tipo trapezoidal. 110

Fig. 69 Particiones para la variable NumExu con funciones de tipo trapezoidal. 112

Fig. 70 Particiones para la variable RegExuD con funciones de tipo trapezoidal. 112

Fig. 71 Particiones para la variable RegExuS con funciones de tipo trapezoidal..... 114

Fig. 72 Partición para las variables bivalentes de la retinosis pigmentaria con función de tipo **Singleton**. ... 118

Fig. 73 Particiones para la variable RegEspí con funciones de tipo trapezoidal..... 122

Fig. 74 Partición para las variables bivalentes de la DMDE con función de tipo **Singleton**. 127

Fig. 75 Particiones para la variable RegDrusa con funciones de tipo trapezoidal..... 129

Fig. 76 Particiones para la variable RegHemo con funciones de tipo trapezoidal..... 129

Fig. 77 Particiones para la variable Edad con funciones de tipo trapezoidal. 130

Fig. 78 Particiones para la variable Género con funciones de tipo **Singleton**. 131

Fig. 79 Particiones para la variable RegExuD con funciones de tipo trapezoidal. 133

Fig. 80 Menú **Clinic History ->New**..... 135

Fig. 81 Pantalla de Historia clínica. 135

Lista de tablas

TABLA I Operaciones difusas	45
TABLA II Conormas y Normas (14)	45
TABLA III Criterios intuitivos para GMP	47
TABLA IV Criterios intuitivos para GMT	48
TABLA V Funciones de membresía	48
TABLA VI Implicaciones difusas	50
TABLA VII Clasificación de Keith-Wagener	69
TABLA VIII Criterios Diagnósticos de la Retinosis Pigmentaria	73
TABLA IX Variables a considerar para el glaucoma con sus rangos o valores (normales) y grado de importancia	83
TABLA X FAM con las variables PIO y TamExca para la determinación del prediagnóstico de glaucoma.	93
TABLA XI Variables a considerar para la retinopatía diabética con su rangos o valores (normales) y grado de importancia	95
TABLA XII Variables a considerar para la retinopatía hipertensiva con sus rangos o valores (normales) y grado de importancia	104
TABLA XIII Variables a considerar para la retinosis pigmentaria con sus rangos o valores (normales) y grado de importancia	117
TABLA XIV Variables a considerar para la degeneración macular dependiente de la edad con sus rangos o valores (normales) y grado de importancia	126
TABLA XV Caso 1 de Glaucoma	136
TABLA XVI Caso 2 de Glaucoma	137
TABLA XVII Caso 3 de Glaucoma	137
TABLA XVIII Caso 4 de Glaucoma	137
TABLA XIX Caso 5 de Glaucoma	138
TABLA XX Caso 6 de Glaucoma	138
TABLA XXI Caso 7 de Glaucoma	138
TABLA XXII Caso 8 de Glaucoma	139
TABLA XXIII Caso 9 de Glaucoma	139
TABLA XXIV Caso 10 de Glaucoma	139
TABLA XXV Caso 1 de Retinopatía Diabética	140
TABLA XXVI Caso 2 de Retinopatía Diabética	140
TABLA XXVII Caso 3 de Retinopatía Diabética	141

TABLA XXVIII Caso 4 de Retinopatía Diabética	141
TABLA XXIX Caso 5 de Retinopatía Diabética	141
TABLA XXX Caso 6 de Retinopatía Diabética	142
TABLA XXXI Caso 7 de Retinopatía Diabética	142
TABLA XXXII Caso 8 de Retinopatía Diabética	142
TABLA XXXIII Caso 9 de Retinopatía Diabética	143
TABLA XXXIV Caso 10 de Retinopatía Diabética	143
TABLA XXXV Caso 1 de Retinopatía Hipertensiva	144
TABLA XXXVI Caso 2 de Retinopatía Hipertensiva	145
TABLA XXXVII Caso 3 de Retinopatía Hipertensiva	145
TABLA XXXVIII Caso 4 de Retinopatía Hipertensiva	146
TABLA XXXIX Caso 5 de Retinopatía Hipertensiva	146
TABLA XL Caso 6 de Retinopatía Hipertensiva	147
TABLA XLI Caso 7 de Retinopatía Hipertensiva	147
TABLA XLII Caso 8 de Retinopatía Hipertensiva	148
TABLA XLIII Caso 9 de Retinopatía Hipertensiva	148
TABLA XLIV Caso 10 de Retinopatía Hipertensiva	149
TABLA XLV Caso 1 de Retinosis Pigmentaria	150
TABLA XLVI Caso 2 de Retinosis Pigmentaria	150
TABLA XLIX Caso 3 de Retinosis Pigmentaria	151
TABLA XLVIII Caso 4 de Retinosis Pigmentaria	151
TABLA XLVII Caso 5 de Retinosis Pigmentaria	152
TABLA L Caso 6 de Retinosis Pigmentaria	152
TABLA LI Caso 7 de Retinosis Pigmentaria	153
TABLA LII Caso 8 de Retinosis Pigmentaria	153
TABLA LIII Caso 9 de Retinosis Pigmentaria	154
TABLA LIV Caso 10 de Retinosis Pigmentaria	154
TABLA LV Caso 1 de DMDE	155
TABLA LVI Caso 2 de DMDE	155
TABLA LX Caso 3 de de DMDE	156
TABLA LVIII Caso 4 de de DMDE	156
TABLA LIX Caso 5 de de DMDE	156

<i>TABLA LVII Caso 6 de de DMDE</i>	157
<i>TABLA LXI Caso 7 de de DMDE</i>	157
<i>TABLA LXII Caso 8 de de DMDE</i>	157
<i>TABLA LXIII Caso 9 de de DMDE</i>	158
<i>TABLA LXIV Caso 10 de de DMDE</i>	158

Glosario de siglas y acrónimos

Para la rápida lectura y completa comprensión de este trabajo, se proporciona la siguiente lista ordenada alfabéticamente de todas las siglas que en él se utilizan.

ADRP: Patrón Autosómico Dominante por sus siglas en inglés *Autosomal Dominant Retinitis Pigmentosa*.

AMD: Degeneración Macular Relacionada con la Edad por sus siglas en inglés *Age-Related Macular Degeneration*.

ARRP: Patrón Autosómico Recesivo por sus siglas en inglés *Autosomal Recessive Retinitis Pigmentosa*.

AV: Arteria – Vena.

BVEM. Módulo de Extracción de Vasos Sanguíneos por sus siglas en inglés *Blood Vessel Extraction Module*.

DMAE: Degeneración Macular Asociada con la Edad.

DMDE: Degeneración Macular Dependiente de la Edad.

DMRE: Degeneración Macular Relacionada con la Edad.

EPR: Epitelio Pigmentario de la Retina.

FAM: Memoria Asociativa Difusa por sus siglas en inglés *Fuzzy Associative Memory*.

GPAA: Glaucoma Primario de Ángulo Abierto.

GMP: *Modus Ponens* Generalizado por sus siglas en inglés *Generalized Modus Ponens*.

GMT: *Modus Tolens* Generalizado por sus siglas en inglés *Generalized Modus Tolens*.

Hg: Símbolo del mercurio (elemento químico).

MIMO: Entrada Múltiple Salida Múltiple por sus siglas en inglés *Multiple Input Multiple Output*.

MISO: Entrada Múltiple Salida Simple por sus siglas en inglés *Multiple Input Single Output*.

PIO: Presión Intra Ocular.

RP: Retinosis Pigmentaria (o Retinitis Pigmentosa).

VBDM. Módulo de Detección de Bordes Venosos por sus siglas en inglés *Venous Beading Detection Module*.

XLRP: Patrón ligado al cromosoma X por sus siglas en inglés *X-chromosome Linked to Retinitis Pigmentosa*.

ZAF: Zona Avascular Foveal.

Glosario de términos

El siguiente glosario, con términos ordenados alfabéticamente, incluye la descripción breve de aquellos términos esenciales que se mencionan en este trabajo, estrechamente relacionados con la medicina, la oftalmología y la computación.

Acimut. Es una palabra que proviene del árabe "*as-sumut*" (la dirección, el cenit), plural de "*as-sumt*". El significado de este término tiene algunas particularidades según la disciplina en la que se use. Por ejemplo, en astronomía acimut es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal Norte (Sur) y la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud Norte (Sur). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj: Norte-Este-Sur-Oeste.

Anamnesis. Parte de la historia clínica relacionada con los datos personales, hereditarios y familiares que pueden relacionarse con alguna enfermedad del paciente.

Apoptosis. Muerte programada de una célula.

Arteriosclerosis; arterosclerosis; arterioesclerosis. Endurecimiento anormal de los vasos sanguíneos, por depósito de minerales y materias grasas y que degeneran perdiendo elasticidad.

Bifurcación. División en dos ramales, brazos o puntas.

Canal de Schlemm. Pequeño seno venoso, en el ángulo iridocorneal de la cámara anterior del ojo, que conecta con las vellosidades pectinadas, drenando el humor acuoso hacia la circulación sanguínea.

Citocromos. Es una proteína de color oscuro que desempeña una función vital en el transporte de electrones en todas las células vivas. Los citocromos actúan en los procesos de la respiración y la fotosíntesis en los cuales funciona como enzima. Estos se encuentran en la membrana celular de las bacterias y en las membranas internas de las mitocondrias.

Cognitrón. Modelo de una red neuronal artificial jerárquica.

Conjuntiva. Membrana mucosa muy fina que tapiza interiormente los párpados y se extiende a la parte interior del globo del ojo.

Densitometría. Medida de la densidad óptica de un medio según la intensidad de la luz que transmite o refleja.

Edema. Presencia de exceso de líquido en el espacio intersticial o en cavidades serosas.

Enzima. Sustancia proteínica que actúa acelerando las reacciones químicas.

Eclampsia. Estado patológico del embarazo que se caracteriza por un aumento importante en las cifras de la tensión arterial y aparición de proteinuria (>300mg de proteínas en 24h) acompañado de convulsiones y coma en los casos más severos.

Epitelio. Tejido formado por una o varias capas de células en estrecho contacto que reviste la superficie de cavidades y conductos del organismo.

Esclerosis. Endurecimiento patológico de un órgano o tejido.

Escotoma. Zona de ceguera parcial, temporal o permanente. Es debida a una lesión de la retina, del nervio óptico o por una alteración vascular.

Espasmo. Contracción involuntaria de los músculos, producida generalmente por un mecanismo reflejo.

Exfoliación. Remoción o pérdida de las células de un tejido.

Feocromocitoma. Neoplasia relativamente rara que produce catecolaminas e hipertensión, que a veces puede fabricar esteroides o péptidos con el consiguiente síndrome de Cushing u otros trastornos endocrinos.

Gliososis. Aumento de la neuroglía en los espacios que se encuentran entre las células.

Halo. Círculo que rodea un cuerpo.

Hiperplasia. Incremento del número de células de un órgano o tejido.

Hipertrofia. Aumento excesivo del tamaño celular.

Hipoxia. Deficiencia de oxígeno en la sangre.

Isquemia. Sufrimiento celular causado por la disminución transitoria o permanente del riego sanguíneo y consecuente disminución del aporte de oxígeno de un tejido biológico.

Lámina cribosa de la esclerótica. Capa fibrosa situada en la parte posterior de la membrana esclerótica y atravesada por un gran número de perforaciones que permiten el paso de los filetes del nervio óptico y los vasos centrales de la retina.

Laxitud. De laxo, sin tensión.

Manchas de Elschnig. Lesiones puntiformes focales atróficas y pigmentadas irregularmente agrupadas, causadas por la oclusión de la coriocapilar y consiguiente necrosis del epitelio pigmentario. Se observan preferentemente en pacientes hipertensos.

Membrana de Bruch. Capa interna y transparente de la coroides que está en contacto con el epitelio pigmentario de la retina.

Neovascularización. Aparición de vasos anómalos, acompañados de tejido conectivo, como consecuencia de fenómenos de isquemia prolongada.

Neovasos. Vasos recientemente formados.

Neuroglía. Conjunto de células provistas de largas prolongaciones ramificadas, que están situadas entre las células y las fibras nerviosas.

Oftalmoscopio. Instrumento para reconocer las partes interiores del ojo.

Osteoblasto. Célula del tejido óseo cuya función específica es la formación, desarrollo y crecimiento del tejido óseo.

Paquimetría. Medida del grosor corneal.

Patognomónico. Síntoma que caracteriza y define una determinada enfermedad.

Perfusión. Aporte sanguíneo a un órgano o territorio.

Pericito. Célula aplanada que se encuentra alrededor de los capilares.

Pesquisaje, métodos de. Métodos para obtener información o indagar que se hace de algo, para averiguar la realidad de ello o sus circunstancias.

Polarización. Acción y efecto de polarizar o polarizarse.

Polarizar. Modificar los rayos luminosos por medio de refracción o reflexión, de tal manera que queden incapaces de refractarse o reflejarse de nuevo en ciertas direcciones.

Preeclampsia. Patología del embarazo caracterizada por un aumento de la presión arterial con o sin proteinuria y con o sin edema generalizado. La preeclampsia antecede a la eclampsia.

Presión diastólica. Corresponde al valor mínimo de la tensión arterial cuando el corazón está en diástole o entre latidos cardiacos. Depende fundamentalmente de la resistencia vascular periférica. Se refiere al efecto de distensibilidad de la pared de las arterias, es decir, el efecto de presión que ejerce la sangre sobre la pared del vaso.

Presión sistólica. Corresponde al valor máximo de la tensión arterial en la contracción del corazón. Se refiere al efecto de presión que ejerce la sangre eyectada del corazón sobre la pared de los vasos.

Proliferación. Multiplicación celular.

Proteinuria. Presencia de proteínas en la orina.

Refracción. Acción y efecto de refractar.

Refractar. Hacer que cambie de dirección un rayo de luz u otra radiación electromagnética al pasar oblicuamente de un medio a otro de diferente velocidad de propagación.

Regmatógeno. Relativo o perteneciente a la retina.

Retinógrafo. Instrumento para tomar una fotografía a la retina.

Seroso. Relativo a la capa serosa. Son membranas lisas delgadas humedecidas que revisten la superficie de ciertos órganos.

Simpática. Conjunto de nervios que rigen el funcionamiento visceral y que forman con el nervio neumogástrico o vago el sistema nervioso de la vida vegetativa.

Síndrome de Cushing. Síndrome causado por meningioma supraselar, aneurisma anterior del polígono de Willis o craneofaringioma que provoca hemianopsia bitemporal progresiva y disco óptico normal en estadios tempranos.

Sinequia. Adherencia de partes próximas, especialmente del iris con la córnea o con el cristalino.

Sistema experto. Programa de computadora que trata de emular el razonamiento de un experto en determinado campo del conocimiento. Dicho programa no depende de suposiciones estadísticas o de datos sobre grandes poblaciones y puede modificar su base de conocimientos para mejorar su funcionamiento. Un sistema experto es aquél que intenta ayudar a un especialista a la toma de decisiones.

Sistémica. Pertenciente o relativo a la circulación general de la sangre.

Tercil. Se trata de un término estadístico: tertile - tercil (los valores que dividen un conjunto de datos en tres partes). Suele ser más común hablar de cuartiles.

Tonómetro. Instrumento que se utiliza en una tonometría para la determinación de la presión intraocular (PIO).

Vasospasmo. Constricción de un vaso sanguíneo.

Vasoconstricción. Constricción o estrechamiento de un vaso sanguíneo que se manifiesta en una disminución del volumen de sangre que transporta.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Existen muchos tipos de sistemas que dependen de la tarea y el sector en que se apliquen. Por ejemplo, en el sector de la educación existen los denominados pizarrones inteligentes, que ayudan a un mejor aprendizaje. La Computación abarca numerosas materias muchas de las cuales se imparten desde los primeros niveles de educación hasta los grados más avanzados. A pesar de que la computación abarca todos los sectores, se considera que algunos están menos familiarizados con esta tecnología. En nuestro caso, con este trabajo se pretende hacer una modesta aportación con una herramienta que ayude a los expertos en este ramo a dar la atención adecuada, oportuna y de calidad a los pacientes, además de contribuir con una forma de optimizar los recursos de todo tipo.

Se sabe que para tratar las enfermedades degenerativas es indispensable su detección a tiempo, pues normalmente el grado del daño alcanzado es irreversible. Ahora bien, nos podríamos preguntar: si el tratamiento no cura la enfermedad ¿Por qué es importante detectarla a tiempo? La respuesta es porque de esta forma la progresión de la enfermedad no alcanzaría grados tan avanzados que afecten drásticamente la salud, como puede ser quedarse ciego de por vida.

Las investigaciones sobre el diagnóstico médico asistido por computadora comenzaron en los años 60's con gran esperanza de poder reducir los problemas clínicos a formalismos matemáticos. La mayor parte del trabajo inicial se centró en aplicar el álgebra de Boole, el análisis de decisión del problema diagnóstico, entre otras. Sin embargo, estas técnicas tuvieron poco éxito, por lo que en los 70's el interés derivó hacia la inteligencia artificial, y especialmente las aplicaciones de la computadora que implican el procesamiento de información simbólica. Los programas informáticos que intentan ayudar a tomar una decisión reciben el nombre de sistemas expertos [36].

Enfocándonos en el área de la Oftalmología, con el desarrollo de este subsistema experto, que constituye una parte de un sistema integral denominado Sistema de análisis masivo de retinas humanas, se contribuirá en un futuro próximo a prevenir la ceguera provocada por diversas enfermedades degenerativas de la retina, a saber: el glaucoma, la retinopatía diabética, la retinopatía hipertensiva, la retinosis pigmentaria y la degeneración macular dependiente de la edad.

El subsistema experto, que se describe en este trabajo, analiza de forma ponderada los factores de riesgo de los pacientes con la retina alterada, para detectar a tiempo la incidencia de alguna(s) de las cinco principales enfermedades de la retina mencionadas que propenden a la ceguera en el humano.

1.1 El problema a resolver

Determinar un prediagnóstico en tres niveles, para cada una de las cinco enfermedades degenerativas de la retina mencionadas, sobre la base del análisis ponderado de los factores de riesgo más representativos en cada enfermedad.

1.2 Justificación

Según estimaciones recientes (2002), de la carga mundial de discapacidades visuales la ceguera afectaba a más de 161 millones de personas, de las cuales 124 millones presentaban disminución de la agudeza visual y 37 millones sufrían ceguera¹. Considerando que esas cifras no comprenden los problemas visuales debidos a errores de refracción, el alcance real de las discapacidades visuales a nivel mundial es probablemente mucho mayor. El análisis del perfil epidemiológico mundial de la ceguera indica que hasta un 75% de los casos son evitables.

La ceguera y las discapacidades visuales graves tienen un notable impacto en el desarrollo socioeconómico de los individuos y las sociedades. La prevención de las discapacidades visuales evitables se traduce en ahorros sustanciales a largo plazo en conceptos de atención sanitaria y gastos sociales, en proporción al número de individuos que dejan de necesitar asistencia médica o social. A ello se añaden las economías que se derivan de la menor cantidad de familiares que cuiden de la persona discapacitada. Estudios recientes demuestran que existe una relación directa entre la privación social y económica que sufren los discapacitados visuales (concretamente los de los países de bajos ingresos) y su capacidad para buscar y obtener atención médica. La espiral de deterioro socioeconómico a que ello conduce puede invertirse mediante intervenciones preventivas y curativas apropiadas, costos eficaces y ampliamente accesibles.

Más del 82% de las personas ciegas tienen 50 o más años. Teniendo en cuenta los cambios demográficos y el crecimiento de la población previstos, se anticipa un aumento de la incidencia de las enfermedades crónicas no transmisibles que afectan a la vista. Las sociedades y comunidades menos desarrolladas económicamente son en las que se presenta una mayor incidencia de las discapacidades visuales.

Las enfermedades crónicas no transmisibles de la retina, como el glaucoma y la retinopatía diabética, causan el 12% y el 5% de la ceguera mundial, respectivamente. De mantenerse las tendencias demográficas, esas cifras probablemente aumentarán. A fin de minimizar o prevenir el aumento de la incidencia de la ceguera por esas dos causas, es necesario seguir evaluando los posibles métodos de pesquiasaje (*screening*) y tratamiento médico, para incorporarlos como prioridades en las estrategias nacionales de atención sanitaria [1].

En nuestro país la forma en que se ha tratado de atacar el problema es mediante campañas, donde se pretende abarcar la mayor cantidad de personas, principalmente de zonas rurales donde la atención oftálmica es mínima. Al tratar de abarcar una población muy grande el recurso humano suele ser escaso para cubrirla por completo, ya que se tiene que realizar una buena auscultación, lo cual lleva

¹ Según la OMS en los programas y proyectos para la prevención de la ceguera y discapacidades visuales; Sección de Causas, tema Magnitud de la ceguera y discapacidades visuales: <http://www.who.int/blindness/causes/magnitude/en/index.html>; © WHO 2009.

tiempo. El trabajo aquí propuesto es una herramienta que ayude al recurso humano a hacer revisiones masivas; es decir, que en vez de tratar por ejemplo 10 pacientes por día, puedan tratarse 100 pacientes aproximadamente por día. Esto se logra automatizando el proceso de revisión; mientras el oftalmólogo se dedica a obtener signos básicos y algunas mediciones, sin detenerse a hacer auscultaciones detalladas; el subsistema se encarga de analizar el caso, dando como resultado un prediagnóstico, el cual será utilizado para reportes donde aparezcan aquellas personas que no necesiten la atención médica del oftalmólogo (de forma detallada), aquellas que la necesiten dentro de determinado tiempo y aquellas que la necesiten de manera inmediata. Esto probablemente daría como resultado una optimización de recursos y sobre todo abarcar una mayor población.

En este estudio trataremos las cinco principales enfermedades que por deterioro de la retina propenden a la ceguera, a saber: el glaucoma, la retinopatía diabética, la retinopatía hipertensiva, la retinosis pigmentaria y la degeneración macular dependiente de la edad.

1.3 Hipótesis

Mediante el análisis de los factores de riesgo de cada enfermedad, se plantea que es posible determinar con un alto grado de certeza, cuáles pacientes tienen la retina normal y cuáles presentan una de las cinco enfermedades degenerativas de la retina ya mencionadas. En el caso de que se detecte que el paciente presenta los síntomas de alguna de estas enfermedades, es posible dar una recomendación a modo de prediagnóstico de acuerdo a la evolución de cada una de ellas.

1.4 Objetivo general

Desarrollar un subsistema de análisis ponderado de los factores de riesgo de los pacientes con la retina alterada, que sea capaz de detectar a tiempo la incidencia de alguna(s) de las cinco principales enfermedades de la retina que propenden a la ceguera en el humano.

1.5 Objetivos específicos

1. Brindar un prediagnóstico por cada una de las siguientes enfermedades, sobre la base del análisis de las variables mediante la lógica difusa, indicando uno de los tres niveles (la retina es normal, debe acudir al oftalmólogo al menos una vez cada seis meses y debe acudir al oftalmólogo urgentemente):
 - Glaucoma
 - Retinopatía diabética
 - Retinopatía hipertensiva
 - Retinosis pigmentaria

- Degeneración macular dependiente de la edad
2. Crear una interfaz gráfica, que permita de forma sencilla realizar pruebas y evaluaciones de los resultados de los análisis.

1.6 Antecedentes

Los sistemas expertos son programas diseñados para poner a disposición algunas de las habilidades de un experto para los no expertos. Dado que estos programas tratan de emular los patrones de pensamiento de un experto, es natural que el primer trabajo se haya realizado en el ámbito de la Inteligencia Artificial. Entre los primeros sistemas expertos estuvieron los programas de Dendral, que determina la estructura molecular de los datos del espectrómetro de masas; R1 que se utiliza para configurar los sistemas informáticos, y MYCIN para el diagnóstico médico. Desde mediados de los 1960's ha habido muchos, muchos sistemas expertos creados para los campos que van desde los dedicados a un transbordador espacial hasta los dedicados a operaciones del hospital de cuidados intensivos; y la unidad de monitorización de pacientes para la toma de decisiones financieras [37].

En este trabajo nos referimos única y exclusivamente a las enfermedades ya mencionadas de la retina que propenden a la ceguera, por lo que los análisis que realiza nuestro subsistema experto no se centran en enfermedades que afecten a otras partes del ojo, tales como el cristalino y la córnea, entre otras.

Hasta hace un par de décadas se contaba con pocas herramientas de ayuda para el diagnóstico de enfermedades de la retina, por lo que el especialista hacía la mayor parte. En la actualidad esto ha cambiado; sin embargo, aún la mayor parte es realizada por el médico y esto suele ser desgastante para el mismo. Además, el proceso consume más tiempo y se cubre poco económicamente por la gran cantidad de personas afectadas que necesitan de atención médica.

Es evidente el avance de la ciencia y la tecnología que se observa en los aparatos electrónicos y/o mecánicos con los que se hacen los estudios de la retina cuando se acude al especialista y que brindan alguna ayuda en los diagnósticos; no obstante, en nuestro país aún no existe ningún sistema o aparato de producción nacional, que pueda brindar tales diagnósticos, automáticamente, o que al menos ayude al oftalmólogo a brindar un prediagnóstico certero. A pesar de ello, podemos decir que desde hace algún tiempo ya se ha estado trabajando por hacer algo al respecto.

Las líneas actuales de investigación están enfocadas principalmente en el uso de técnicas del procesamiento digital de imágenes para el análisis computarizado de la retina, de la papila óptica y en general del fondo de ojo, con el fin de detectar aquellas afecciones que se presentan en ellas. Esta vez la idea es diferente: en vez de enfocarnos en las afecciones el enfoque se hará en las enfermedades; además, se tratará de aprovechar el resultado de los sistemas antes mencionados, ya que de alguna manera se pueden asociar a algunas enfermedades.

1.7 Estado del arte

En esta sección se verán dos tipos de sistemas, los primeros son sistemas que se han desarrollado y que están más relacionados al análisis de imágenes de la retina y, porque si bien no es fácil encontrar sistemas de este tipo, por lo menos son un poco más comerciales que los sistemas que den un diagnóstico como tal. Probablemente existan más de los que se presentan en este apartado; sin embargo, en la investigación realizada se encontraron solamente los descritos en las siguientes líneas; lo segundos son los que entran en la categoría de sistemas expertos, los cuales están enfocados a diferentes tareas entre ellas el diagnóstico de enfermedades.

Empezaremos con un sistema de diagnóstico de enfermedades de la retina que a pesar de que no está relacionado con la computación, vale la pena comentarse porque así podremos darnos cuenta de las ventajas que se podrían tener con un sistema computacional.

El objetivo del sistema es proveer un método y un aparato para medir las propiedades de polarización de la retina, mediante los efectos de polarización del segmento anterior del ojo para producir estadística y clínicamente resultados significativos. El estado de polarización de la luz que regresa del fondo es detectado y comparado con el estado inicial antes de la alteración en el fondo. El grado de alteración sustancial se correlaciona directamente con el espesor de la doble refracción de la capa de fibras nerviosas [2]. Lo antes descrito es una panorámica general de lo que trata el sistema, por lo que se puede observar que se trata de algo mucho más complejo, en varios aspectos, con respecto a su uso por mencionar alguno; y por supuesto, ha de generar más gastos tanto monetarios y de tiempo, además de que no es tan fácil el acceso a este tipo de sistemas.

1.7.1 Sistemas de análisis de retinas

Diagnóstico asistido por computadora 2.

El sistema para la detección de glaucoma utiliza el análisis de imágenes del fondo de ojo; una sensibilidad y especificidad de 77.8% y 74.5% se obtienen en el análisis de la cabeza del nervio óptico y una sensibilidad del 61.5% con 1.3 falsos positivos por imagen se tienen como resultado en la detección de defectos en la capa de fibras nerviosas de la retina. Las hemorragias y exudados en el diagnóstico de la retinopatía diabética se detectan con una sensibilidad y especificidad de 84.6% y 20.6%, respectivamente, para el primero y el 76.9% y 83.3%, respectivamente, para el segundo. De la retinopatía hipertensiva, el sistema puede identificar el 76.2% de los verdaderos positivos el 1,4 falsos positivos por imagen [3].

Detección automática de lesiones en imágenes de la retina de ADCIS.

El sistema pretende ser totalmente automatizado y será capaz de procesar imágenes de color del fondo del ojo capturadas por un retinógrafo. Hoy en día es utilizado por oftalmólogos y hospitales especializados en estudios sobre la degeneración macular y la retinopatía diabética.

A partir de una imagen de color de la retina, la aplicación es capaz de realizar las siguientes tareas sin la intervención humana:

- Mejorar la calidad visual de la imagen aplicando operaciones de filtrado.

- Localizar la papila (llegada del nervio óptico).
- Aislar la red vascular y detectar las bifurcaciones, las cuales son utilizadas como puntos de referencia para el alineamiento de la imagen.
- Detectar los microaneurismas.
- Detectar los exudados y las hemorragias.
- Detectar la mácula (zona central de la retina), así como los neovasos.

Además de las herramientas de procesamiento y análisis de imágenes, la aplicación ofrece las siguientes posibilidades:

- Cómputo de medidas como el número de microaneurismas, el diámetro de los vasos, el número de las bifurcaciones, la densitometría, etc.
- Base de datos para salvar las imágenes, los resultados y los datos relativos al paciente.
- Alineamiento de imágenes para poner en correspondencia imágenes de un mismo paciente tomadas en tiempo diferentes.
- Validación manual de los resultados obtenidos, por un técnico confirmado encargado de los análisis.

La aplicación es actualmente utilizada por el equipo médico del laboratorio de oftalmología del *Hospital Lariboisière* [4].

RetsoftPlus: una herramienta para el análisis de imágenes de retina.

Es una aplicación de software de investigación que integra diversos algoritmos de análisis de imágenes, desarrollado en el marco de un proyecto de investigación sobre los sistemas de análisis de imágenes de retina asistidos por computadora. Su principal propósito es servir como banco de pruebas para la integración de nuevos algoritmos que se desarrollan por el equipo de investigación, por lo que se hace más fácil mostrar nuevos resultados a los oftalmólogos que participan.

El sistema incorpora muchas funcionalidades específicamente diseñadas para el análisis de la imagen retiniana, como la detección de estructuras anatómicas (disco óptico y la mácula), la evaluación de la calidad de imagen, detección de la lesión (microaneurismas, exudados), registro y fusión de imágenes, etc. Además de este rico conjunto de funcionalidades, la facilidad de uso es una característica clave de la aplicación: un asistente guía al usuario a través de las distintas etapas del análisis que desea realizar [5].

CARA de DIAGNOS.

Este sistema detecta automáticamente posibles anomalías e indica la ubicación, tamaño y tipo de patología para el lector. La tecnología tiene la capacidad de reducir la frecuencia de errores, al garantizar que todas las regiones sospechosas de las imágenes son exhaustivamente detectadas y por el aumento de la ponderación que atribuye sutiles indicios, que de otro modo, habrían sido descartadas.

A continuación se mencionan algunas de sus principales características:

- Capacidad de procesamiento por lotes.

- Detecta, cuenta y localiza una o múltiples microaneurismas y hemorragias.
- Detecta, cuenta y localiza exudados.
- Identifica y localiza la mácula, disco óptico y red vascular.
- Fácil de usar, ya que es un software que no requiere de conocimientos especializados.
- Todos los datos pueden ser guardados en una base de datos interna o externa.
- Se puede acceder a la historia del paciente y comparar los datos anteriores con los actuales.

Finalmente, cabe mencionar que CARA está basado en un *software* de Web [6].

Sistema de análisis de imágenes de la retina hipertensiva.

Hace uso de la tecnología del procesamiento de imágenes por computadora y del análisis de redes de microcirculación. Este sistema analiza cuantitativamente las perspectivas de los vasos retinianos. Mediante un sistema multimedia obtiene la historia clínica de los pacientes, la cual incluye la información básica de los mismos, información durante la toma de muestras y el procesamiento de las imágenes de la retina del paciente, así como el resultado. El sistema incluye imágenes de muestreo, visualización de la imagen, procesamiento de imágenes, parámetros de medición y análisis, gestión de informes para imprimir y atlas. En pocas palabras el sistema es útil para el diagnóstico de hipertensión y por ende también de la retinopatía hipertensiva [7].

Sistema de detección de bordes venosos en imágenes de retina.

La detección de bordes venosos en imágenes de retina provee una señal temprana de la retinopatía diabética y desempeña un papel importante en un paso de preprocesamiento en el diagnóstico de enfermedades del ojo. El sistema trata de detectar automáticamente los bordes venosos de los vasos sanguíneos. Se compone de dos módulos, denominados el módulo de extracción de vasos sanguíneos (BVEM) y el módulo de detección de bordes venosos (VBDM). El primero usa un núcleo en forma de campana de *Gauss* con 12 acimuts para extraer los vasos sanguíneos, mientras que el segundo aplica una red neuronal basada en la forma del cognitrón para detectar los bordes venosos entre los vasos sanguíneos para el diagnóstico. Ambos módulos están completamente automatizados. Para la evaluación del sistema, 61 imágenes de retina (32 con bordes y 29 normales) se utilizaron para la evaluación de su desempeño [8].

Sistema basado en JAVA para la segmentación y el análisis de imágenes de la retina (RetinaView).

Cuenta con una interfaz amigable que permite la visualización de las imágenes de retina, ya sea en forma individual o en varias ventanas para la visualización simultánea de múltiples modalidades de la investigación basada en estudios de la retina. Una gran variedad de herramientas han sido desarrolladas para *RetinaView*, incluyendo la segmentación automática de los vasos retinianos, la segmentación de las pequeñas anomalías vasculares que se encuentran en las primeras etapas de la retinopatía diabética (microaneurismas), la segmentación de drusas, lesiones patognomónicas de la degeneración macular asociada a la edad, ubicación de la fovea, etc. [9].

1.7.2 Sistemas expertos

Ahora mencionaremos de forma general algunos sistemas expertos que ya existen.

Sistema experto de diagnóstico clínico para el apoyo de la primera consulta.

El sistema opera con la información básica obtenida en la anamnesis y en el examen físico; fue desarrollado en lenguaje ESE (marca registrada IBM); se trata de un lenguaje inteligente de última generación. Su versión actual requiere de 10 megabytes de memoria RAM (*Read Only Memory*).

El sistema no se basa en inferencias estadísticas, sino en reglas y parámetros de conocimiento. Los parámetros son determinados a partir del conocimiento clínico básico y las reglas son relaciones lógicas entre los parámetros, de tipo *SI... ENTONCES...* La presente configuración incluye 305 parámetros, 1 096 reglas y 10 formatos de pantalla.

En la primera prueba, la captura tomó aproximadamente tres minutos; el grado de concordancia en este caso fue de 95 por ciento.

Para la prueba de campo el tiempo promedio de consulta (institucional), fue de 20 minutos y el de transferencia fue de alrededor de cinco minutos; el grado de concordancia en este caso fue del 83 por ciento.

El tiempo de procesamiento de los datos en ambas pruebas fue de 30 a 50 segundos [44].

NEUREX.

Sistema experto que acumula información sobre Neurocirugía. Abordan diferentes temas; uno de ellos es acerca de traumatismos craneoencefálicos donde al sistema se le suministran síntomas, signos y estudios complementarios sobre un paciente; el sistema hace preguntas, sugiere exámenes, etc., y entre ambos (médicos y computadoras) llegan a hipótesis diagnósticas y acuerdan el tratamiento. Mencionan que el sistema es capaz de explicar los razonamientos para sus 41 posibles diagnósticos y 5 variables del pronóstico.

En cuanto a flexibilidad puede relacionar datos positivos del paciente en cualquier momento e imprimirlos en la historia clínica, ofrece información ampliada sobre diagnósticos y tratamientos, realiza cálculos y soluciona fórmulas para aliviar el trabajo mental a su colega (presión de perfusión cerebral y escala para coma).

Está preparado para la asistencia, auto-entrenamiento y docencia médica a 3 niveles distintos: policlínicos, hospitales sin servicio neuroquirúrgico y centros con servicio de neurotraumatología. Facilita la comprensión del proceso cognitivo para el diagnóstico médico.

Es un sistema implementado sobre ELCISHEL, un *shell* desarrollado en EICISOFT, escrito en lenguaje C (*Lattice C*, versión 3.10) que funciona sobre MS-DOS o PC-DOS en microcomputadoras personales NEC serie 9801 e IBM PC/ XT/AT y compatibles. Requiere de al menos 256 kbytes de memoria interna [43].

PUFF: un sistema experto para la interpretación de datos de la función pulmonar.

Programa que interpreta los datos de las pruebas de función pulmonar que se considera como una herramienta de trabajo en el laboratorio de fisiología pulmonar. PUFF fue desarrollado inicialmente en un equipo SUMEX, un gran equipo de investigación de la Universidad de Stanford, y más tarde

fue trasladado a una versión de producción para funcionar en un equipo de cómputo normal en un hospital. PUFF tiene la tarea de interpretar un conjunto de funciones pulmonares, los resultados de pruebas, y elaborar una serie de declaraciones de interpretación y un diagnóstico para el paciente.

PUFF es un práctico asistente del fisiólogo pulmonar y, por tanto, es un emocionante y satisfactorio resultado de la investigación realizada con los sistemas de producción de la regla de consulta. El rendimiento de PUFF es lo suficientemente bueno, de tal forma que es utilizado a diario en los servicios clínicos y cuenta con el apoyo tanto del personal del hospital como de su administración [42].

DIAG, un sistema experto para el diagnóstico de anomalías craneofaciales.

Sistema experto para el diagnóstico de un grupo de anomalías craneofaciales. Este sistema es una herramienta de diagnóstico para ortodoncistas, residentes y estomatólogos dedicados a la ortodoncia y puede también ser empleado como un sistema tutorial inteligente para el estudio de la ortodoncia. Los conocimientos utilizados se obtuvieron de libros de texto, folletos, revistas, conferencias, etc., todos referentes a la especialidad; además, se recogen criterios basados en la experiencia clínica de especialistas en Ortodoncia.

La base de conocimientos consta de un total de 300 proposiciones relacionadas por 250 reglas de producción y fue estructurada en 8 módulos fundamentales. Los módulos contienen los datos referentes a cada anomalía investigada, incluyendo algunas sugerencias acerca de las diferentes conductas a seguir en el plan de tratamiento, teniendo en cuenta el período de crecimiento y desarrollo en que se encuentra el paciente. Como forma fundamental de representación del conocimiento se utilizaron reglas de producción.

La representación del conocimiento en el sistema experto presentado, lograda bajo el medio ambiente del sistema ARIES y su desenvolvimiento aceptable, se comprobaron al examinar 80 historias clínicas (HC) confeccionadas por especialistas, al ser procesados los datos del examen físico y los hallazgos en telerradiografías de perfil, posteroanteriores, panorámicas y las mediciones realizadas en los modelos.

En 69 de las HC procesadas por el sistema, que representan el 86,25 % del total de los casos analizados, el diagnóstico fue coincidente con el de los especialistas, mientras que en 5 casos (6,25 %) el diagnóstico fue erróneo y en 6 casos (7,5 %) no se pudo establecer diagnóstico alguno [41].

Sistema experto de diagnóstico médico del Síndrome de Guillian Barre.

El sistema experto fue realizado con un lenguaje visual con orientación a objetos: Microsoft Visual Foxpro V 6.0. Este lenguaje de cuarta generación sirvió para la implementación del algoritmo de búsqueda de la solución, así como para la representación del conocimiento. Al sistema experto se le ha dado el nombre de SEGBS (Sistema Experto Guillian Barre Síndrome). Utilizan una base de datos con 6 tablas principales a su consideración. Una vez que se registra el paciente y sus síntomas a través de una interfaz, se ejecuta el diagnóstico del parte de atención del ingresado y se muestra una lista con los resultados obtenidos indicando el grado de certeza obtenido.

Este trabajo está planteado como solución de Diagnóstico de un algoritmo basado en Redes Neuronales.

La red neuronal planteada consta de tres capas: una capa de entrada, la segunda capa representa a cada enfermedad con sus síntomas y sus pesos, y es donde se realiza el algoritmo de solución, y la tercera capa agrupa los resultados obtenidos en la segunda capa. Para el caso de una enfermedad, en

la que se toman los datos de la primera capa, en la segunda capa (por un proceso de sinapsis) cada síntoma es asociado a un peso respectivo, luego se ejecuta la Sumatoria de los pesos y se compara con el umbral; si es mayor o igual hay una certeza del 100 % de que ésta es la enfermedad, por lo que su salida será 100%; en caso contrario su salida será el porcentaje de certeza que se obtenga en la segunda capa. No muestran con qué se entrena la red neuronal ni los resultados arrojados [40].

Sistema experto difuso para determinar perfiles criminológicos, basado en el test de Lüscher y variables socio-criminológicas.

El sistema experto difuso es llamado “FUZZY PROFILE”, el cual se basa en el modelado de variables difusas y la adquisición de conocimientos de carácter psicológico y social con el fin de inferir la inclinación criminalística de un cierto individuo. Para su realización se tomaron datos y elementos conceptuales de una tesis en el área de la psicología y mediante estos se construyó un esquema difuso de doble capa constituido por tres y dos variables difusas, respectivamente, con funciones de membresía de tipo triangular. Adicionalmente, estos datos se usaron para generar la base de conocimientos y la estructura del sistema experto difuso, con los que mediante una implementación usando la biblioteca JESS (*Java Expert System Shell*) y el lenguaje de programación JAVA, se logró una aproximación a un prototipo funcional que diagnostica según ciertas respuestas de aspectos sociales, criminológicos y del “Test de Lüscher”, las inclinaciones de un individuo para cometer tres tipos de delitos relacionados con la familia, el individuo o la propiedad. Adicionalmente, el sistema genera dos tipos de recomendaciones según las respuestas, teniendo en cuenta los resultados del diagnóstico criminológico obtenido [39].

Diseño de un sistema experto difuso: evaluación de riesgo crediticio en firmas comisionistas de bolsa para el otorgamiento de recursos financieros.

El sistema de asignación de recursos financieros a compañías comisionistas de bolsa, tiene el fin de que dichos recursos sean invertidos a nombre de la empresa (inversionista), de tal forma que se disminuya el riesgo de impago del capital asignado y además; que estos capitales generen rendimientos adicionales para la empresa. El modelo planteado, basado en sistemas expertos difusos, permite soportar estas decisiones de asignación de recursos financieros. Se divide en cuatro fases: las tres primeras definen sus variables (entre cuatro y cinco); y hacen uso principalmente de funciones de membresía triangulares y trapezoidales. La última fase toma lugar cuando las anteriores se mezclan para entregar el diagnóstico final de cada firma comisionista, y de esa forma lograr el establecimiento adecuado de los recursos financieros que les serán fijados. Utiliza una sola variable con cinco particiones con funciones de membresía de tipo triangular. En este trabajo se concluye que al utilizar el sistema de inferencia difuso, con el análisis que ellos exponen durante el desarrollo de su investigación, se obtuvieron resultados más objetivos y pertinentes, ya que aporta una percepción más detallada de la compañía comisionista desde varios puntos que son claves al momento de entregarle la responsabilidad en el manejo de los excedentes de liquidez, provenientes de grandes o pequeños inversionistas y que buscan generar rentabilidades adecuadas. La confiabilidad de los resultados arrojados por el modelo se enfoca en el hecho de considerar la información que antes era considerada poco importante y resulta relevante para la calificación final, tal como sus prácticas internas, la eficiencia de la operación, entre otras [38].

1.8 Medios utilizados

Los medios utilizados para la elaboración de este trabajo son:

- Computadora de escritorio con procesador *Intel Hyper-Threading* a 2.8GHz, disco duro de 120GB, 2GB en memoria RAM, sistema operativo *Windows XP*, monitor de 17", teclado y mouse.

El subsistema fue hecho en el ambiente de desarrollo *Borland Builder C++*, V 6.0 y se utilizó el *software* de base de datos *MySQL*, V 5.1.31 para el almacenamiento de la información relacionada con cada paciente; la conexión entre el sistema de desarrollo y el *software* de base de datos fue a través del *MySQL Connector/ODBC 5.1*. Finalmente, el modelo entidad-Relación de la base de datos fue diseñado con la herramienta *DBDesigner*, V 4.

1.9 Apoyos

La Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), a través de los proyectos SIP No 2008 2213 y SIP No 2009 1057, brindó su apoyo para la realización satisfactoria de este trabajo de tesis durante los periodos febrero – junio y agosto – diciembre en el año 2008 y febrero – junio del año en curso.

1.10 Contribuciones

A continuación se detallan los trabajos realizados (reportes técnicos y ponencias) realizados.

Reportes técnicos

- Reporte técnico del CIC, Serie Azul, No 238, **Enfermedades de la retina que propenden a la ceguera**, Bryan Irving Santos Pérez y Edgardo Manuel Felipe Riverón. ISBN 978-970-36-0497-5, Abril 2008, 82 páginas.

Ponencias

- **Determinación del prediagnóstico en un sistema de análisis masivo de retinas**, Bryan Irving Santos Pérez y Edgardo Manuel Felipe Riverón, IX Simposio Mexicano en Cirugía Asistido por Computadora y Procesamiento de Imágenes Médicas MEXCAS 2008, Ciudad de México, México.

1.11 Organización del documento

Esta tesis consta de cinco capítulos:

Capítulo 1. Comprende la motivación del trabajo, el problema a resolver en forma general, la justificación, el objetivo general, así como los objetivos específicos del trabajo. Se presenta, además, la hipótesis fundamental y un estado del arte de los sistemas comerciales existentes más parecidos al que se describe en este trabajo de tesis. Finalmente, se incluyen los apoyos recibidos a través de proyectos de investigación y las contribuciones realizadas por el autor.

Capítulo 2. Describe el marco teórico del trabajo que comprende los conceptos, definiciones, descripciones, características, datos de importancia, etc., que han sido utilizados para su mejor comprensión. Se divide en dos secciones excluyentes: la primera presenta la investigación realizada acerca de las enfermedades de la retina que propenden a la ceguera, sus características y los datos que servirán de base para hacer un prediagnóstico certero de las patologías que se tratan; la segunda es referente al estudio de la lógica difusa y los principales conceptos relacionados, en los que se basa la determinación del prediagnóstico.

Capítulo 3. Se expone en extenso el desarrollo del trabajo de investigación y se explican detalladamente las metodologías desarrolladas, basado todo en los factores de riesgo de todas y cada una de las enfermedades que se tratan en el trabajo, para lograr finalmente el prediagnóstico a entregar al paciente.

Capítulo 4. Se evalúan los resultados obtenidos y la eficiencia parcial por enfermedad y la eficiencia global del subsistema desarrollado.

Por último, en el **Capítulo 5** se incluyen las conclusiones, las recomendaciones y el trabajo futuro que se deriva de este trabajo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

El capítulo describe el marco teórico del trabajo, para su mejor comprensión, que comprende los conceptos, definiciones, descripciones, características, datos de importancia, etc., que se han utilizado. Se ha dividido en dos partes esenciales: una relacionada con la computación y la otra con la oftalmología. En la primera sección se tratan de manera general los sistemas expertos difusos y los conceptos de la Lógica Difusa que ha servido de herramienta básica del trabajo. La segunda sección, denominada Oftalmología, detalla todo lo concerniente a las cuestiones básicas de cada una de las enfermedades de la retina en las que se ha basado la preparación del prediagnóstico.

Sección 1. Sistemas expertos difusos

En esta sección se tratará exclusivamente la base teórica fundamental de la lógica difusa que se estudió para ser utilizada como herramienta de ayuda para dar solución abierta a una parte fundamental del problema.

En la vida real, nosotros resolvemos problemas pensando en la forma en que podemos solucionarlos; por lo tanto, debemos tratar de analizar el pensamiento humano para emularlo a través de una computadora. En la realidad, frecuentemente no pensamos en los problemas como lo haría una computadora convencional; tratamos constantemente con incertidumbres, ambigüedades y contradicciones. A veces utilizamos una lógica deductiva, pero más a menudo nosotros pensamos intuitivamente en una conclusión. Aunado a esto, a menudo aprendemos de nuestras experiencias.

Hemos encontrado que un sistema experto difuso (ante otras técnicas como lo son las redes neuronales), resuelve mejor el problema planteado al inicio de este trabajo bajo las siguientes condiciones:

- Existe el dominio de un experto que conoce bien cómo las entradas y las salidas están interrelacionadas (oftalmóloga).

- No tenemos datos suficientes para formar un conjunto de formación, posiblemente porque las posibles combinaciones de entradas y salidas son numerosas, o porque el conjunto de entrenamiento es prohibido (confidencialidad de los pacientes).
- Estamos muy interesados en la forma en que los resultados pueden obtenerse a partir de las entradas (para acercarnos más a la realidad) [37].

Los sistemas basados en la lógica difusa emulan la manera en que el cerebro razona o piensa. La denominada lógica difusa permite tratar información imprecisa tal como *estatura media*, *temperatura baja*, o *mucha fuerza*, en términos de conjuntos difusos los cuales en definitiva son imprecisos. Estos conjuntos difusos se combinan en reglas para definir acciones, por ejemplo: *Si la temperatura es alta entonces enfría mucho* (Fig. 1). Así, muchos sistemas de control se basan en la lógica difusa, en donde combinan una serie de variables de entrada (definidas en términos de conjuntos difusos), las que por medio de reglas producen uno o varios valores de salida.

Los sistemas difusos permiten modelar cualquier proceso no lineal y aprender de los datos haciendo uso de determinados algoritmos de aprendizaje; además, nos dan la posibilidad de utilizar fácilmente el conocimiento de los expertos en un tema particular (en nuestro caso la oftalmología), como punto de partida para una optimización automática, al formalizar el conocimiento a veces ambiguo de un experto (o el sentido común) de una forma realizable. Estos sistemas suelen ser baratos y rápidos.

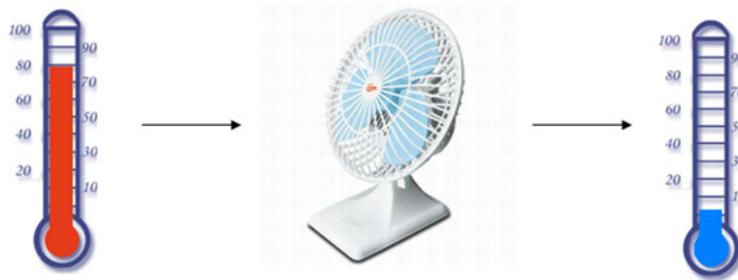


Fig. 1 Ejemplo de cómo los conjuntos difusos se combinan en reglas para definir acciones.

2.1.1 Introducción

La *teoría de conjuntos difusos* parte de la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de membresía al conjunto, definida ésta como un número real entre 0 y 1. Así se introduce el concepto de conjunto o subconjunto difuso asociado a un determinado valor lingüístico, definido por una palabra, adjetivo o etiqueta lingüística A. Para cada conjunto o subconjunto difuso se define una *función de pertenencia o membresía* $\mu_A(t)$, que indica el grado en que la variable t está incluida en el concepto representado por la etiqueta A.

Para el valor lingüístico *estatura de una persona* podrían definirse tres subconjuntos difusos, cada uno identificado por una etiqueta, {Bajo, Medio, Alto}, y con una función de pertenencia o membresía $\{\mu_{Bajo} \mu_{Medio} \mu_{Alto}\}$ (Fig. 2).

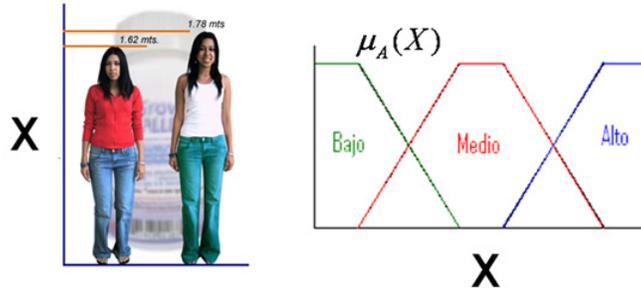


Fig. 2 Ejemplo de conjuntos difusos para la variable *Estatura*.

2.1.2 Conjuntos difusos

En los conjuntos clásicos algo está incluido completamente en él o no lo está en absoluto (Fig. 3). Esta situación puede describirse asignando un 1 a todos los elementos incluidos en el conjunto y un 0 a los no incluidos. A la función que asigna estos valores la denominaremos *función de membresía* o *pertenencia*. Los conjuntos difusos permiten describir el grado de pertenencia o membresía de un objeto (o el valor de una variable) al concepto dado mediante la etiqueta que le da nombre, asignando un número real entre 0 y 1 (Fig. 4).

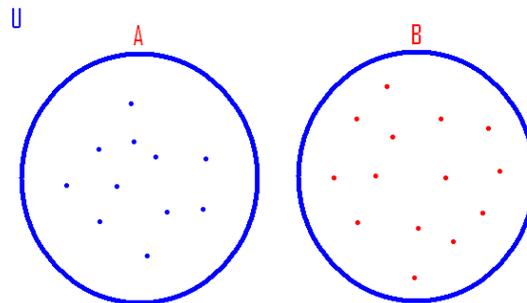


Fig. 3 En este diagrama de Venn, los puntos azules pertenecen por completo al conjunto A y los puntos rojos absolutamente al conjunto B.

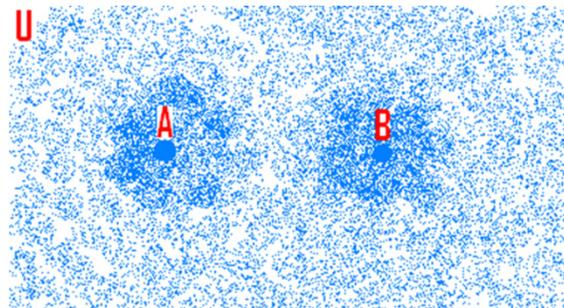


Fig. 4 Si se tratara de simular un diagrama de Venn en los conjuntos difusos, se vería de la forma en que se presenta en esta imagen, donde no hay una línea que delimite a los conjuntos A y B. Esto hace difícil decir qué punto azul pertenece al conjunto A y qué punto al conjunto B.

Sea U un conjunto de objetos, también llamado universo de discurso, por ejemplo, $U = \mathbb{R}^n$. En términos matemáticos, un *conjunto difuso* F en U queda caracterizado por una función de membresía μ_F que toma valores en el rango $[0,1]$, es decir, $\mu_F: U \rightarrow [0,1]$; donde $\mu_F(u)$ representa el grado en el que $u \in U$ pertenece al conjunto difuso F .

Lo anterior generaliza el concepto clásico de conjunto (abrupto), en el que la función de membresía toma solamente los valores 0 ó 1; por el contrario, para uno difuso, la función también puede tomar valores intermedios.

A modo de ejemplo, para el conjunto de las personas se pueden definir subconjuntos difusos en función de la edad. El subconjunto de los *Adultos* puede definirse, como se puede observar en la figura 5 (izquierda), asignando una función de membresía abrupta para el conjunto clásico *Adulto=edad entre 25 y 45*. Definido en términos difusos, la función de membresía de este conjunto toma valor 1 entre 30 y 40, 0 para los menores de 20 o para los mayores de 50, y valores intermedios entre 20 y 30 y entre 40 y 50 (Fig. 5).

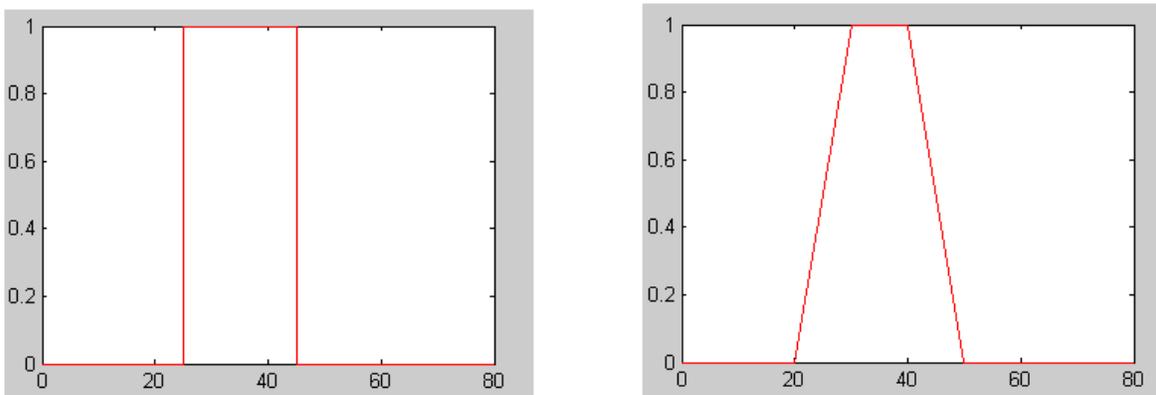


Fig. 5 Funciones de membresía de conjuntos clásico (izquierdo) y difuso (derecha) para edad adulta. Una persona de 25 años en términos clásicos habría que definirla como adulta o no adulta; en términos difusos podría decirse que se incluye en aproximadamente un 0.5 (50%) al conjunto edad adulta.

Dado un cierto conjunto difuso F , se definen los siguientes términos (Fig. 6):

- **Conjunto soportado.** Es aquel conjunto (clásico), de todos los valores de U para los que $\mu_F(u) > 0$.
- **Puntos de cruce.** Son aquellos valores para los que $\mu_F(u) = 0.5$.
- **Conjunto difuso de tipo *Singleton*.** Es aquel que su conjunto soportado tiene o es de un solo valor.
- **Conjunto α -corte (F_α).** Conjunto clásico de todos los puntos u de U para los que se cumple $\mu_F(u) = \alpha$.

Por otro lado, se dice que un conjunto difuso está normalizado si el máximo de su función de membresía es 1; obviamente, un conjunto difuso puede normalizarse multiplicando su función de membresía por un coeficiente fijo para que sea de tipo normalizado [10].

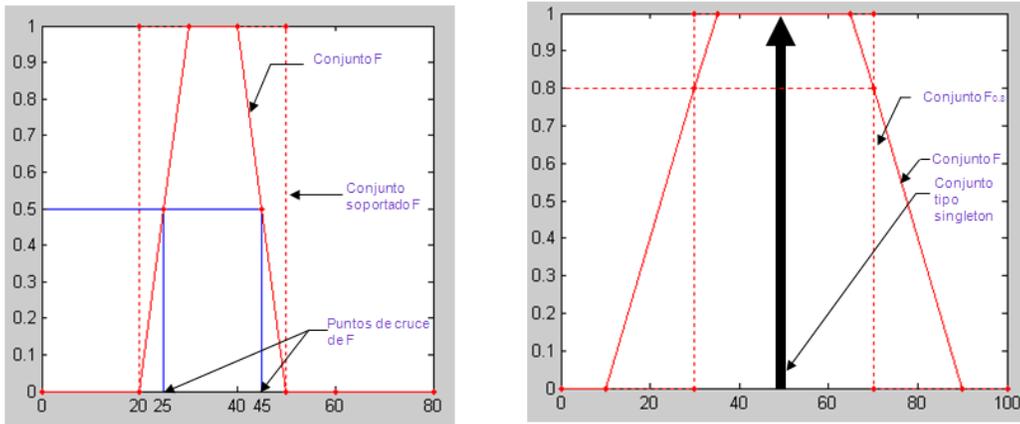


Fig. 6 Términos relativos a los conjuntos difusos.

2.1.3 Funciones de membresía de conjuntos difusos

La *función de membresía* o *pertenencia* de un conjunto difuso consiste en un conjunto de pares ordenados $F = \{(u, \mu_F(u)) | u \in U\}$ si la variable es discreta, o una función continua si no lo es. Para la definición de estas funciones de membresía se utilizan convencionalmente ciertas familias de formas estándar, por coincidir con el significado lingüístico de las etiquetas más utilizadas. Las más frecuentes son la función de tipo trapezoidal, *Singleton*, triangular, S, exponencial y tipo π .

La función de tipo *trapezoidal* se define por cuatro puntos a , b , c y d . Esta función es cero para valores menores que a y mayores que d ; vale uno entre b y c , y toma valores en el intervalo cerrado $[0,1]$ entre a y b y entre c y d (Fig. 7).

Se utiliza habitualmente en sistemas difusos sencillos, pues permite definir un conjunto difuso con pocos datos y calcular su valor de membresía con pocos cálculos. Se emplea especialmente en *sistemas casados en microprocesador*, pues con similar formato pueden codificarse también funciones de tipo S, función de tipo π , triangular y *Singleton*, según se distribuyan los puntos a , b , c y d . Se define con las cuatro expresiones siguientes (1):

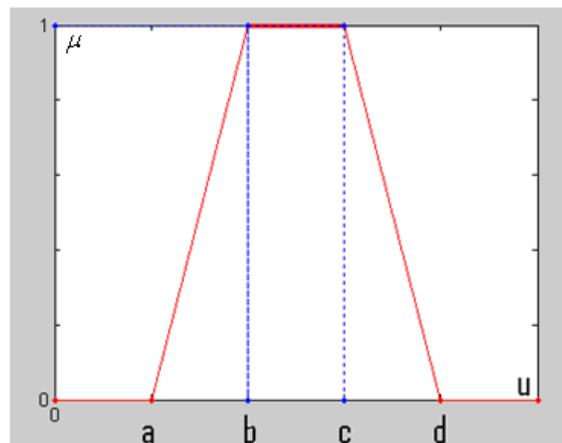


Fig. 7 Función de membresía de tipo trapezoidal.

$$S(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \left(\frac{u-a}{b-a}\right) & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \left(\frac{d-u}{d-c}\right) & c \leq u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (1)$$

La función trapezoidal resulta adecuada para modelar propiedades que comprenden un rango de valores (*adulto, normal, adecuada, ...*).

La función de tipo *Singleton* tiene valor uno sólo para un punto a y cero para el resto. Se utiliza habitualmente en sistemas difusos simples para definir los conjuntos difusos de las particiones de las variables de salida, pues permite simplificar los cálculos y requiere menos memoria para almacenar la base de reglas (Fig. 8).

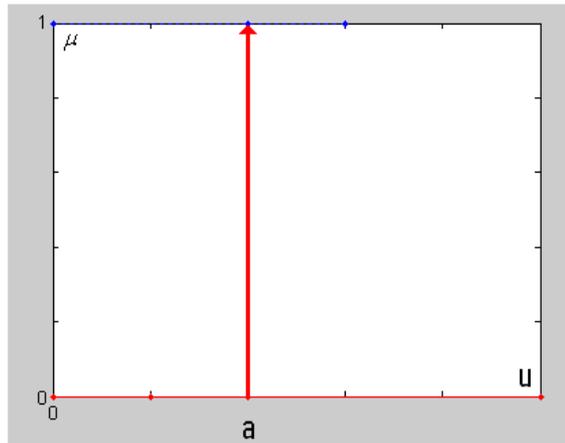


Fig. 8 Función de tipo *Singleton*.

Y está dada por:

$$S(u; a) = \begin{cases} 1 & u = a \\ 0 & u \neq a \end{cases} \quad (2)$$

La función de tipo T (*triangular*) puede definirse como:

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \left(\frac{u-a}{b-a}\right) & a \leq u \leq b \\ \left(\frac{c-u}{c-b}\right) & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (3)$$

Esta función es adecuada para modelar propiedades con un valor de membresía distinto de cero para un estrecho rango de valores en torno a un punto b (Fig. 9).

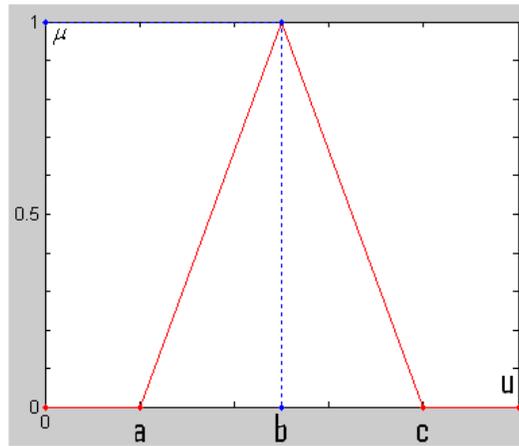


Fig. 9 Función de tipo T (triangular).

La función de tipo S puede definirse como:

$$S(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & a \leq u \leq b \\ 1 - 2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases} \quad (4)$$

Esta función resulta adecuada para modelar propiedades como *grande*, *mucho*, *positivo*, entre otras. Se caracteriza por tener un valor distinto de cero para un rango de valores por encima de cierto punto a , siendo cero por debajo de a y uno para valores mayores de c . Su punto de cruce (valor 0.5) es $b=(a+c)/2$; y entre los puntos a y c es de tipo cuadrático (suave), como se puede observar en la figura 10.

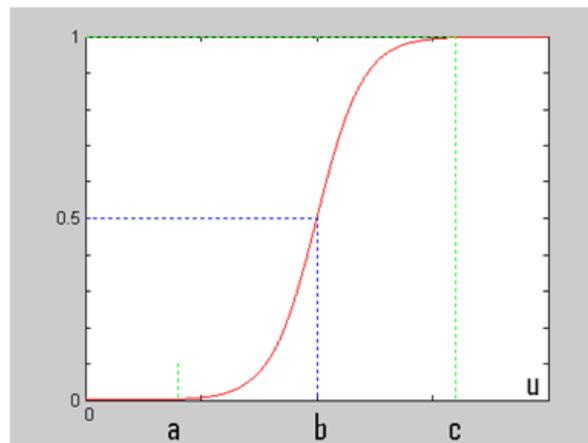


Fig. 10 Función de tipo S.

También se han usado funciones exponenciales para definir funciones de tipo S, como:

$$S(u; k, c) = \frac{1}{1 + \exp(-k(u - b))} \quad (5)$$

La función de tipo π puede definirse de la siguiente forma:

$$\pi(u; b, c) = \begin{cases} S(u; c - b, (c - b)/2, c) & u \leq c \\ 1 - S(u; c - b, (c - b)/2, c) & u \geq c \end{cases} \quad (6)$$

Esta función tiene forma de campana y resulta adecuada para los conjuntos en torno a un valor c , como *medio*, *normal*, *cero*, etc. Pueden definirse también utilizando expresiones analíticas exponenciales o cuadráticas, como la bien conocida *campana de Gauss* (Fig. 11) [10].

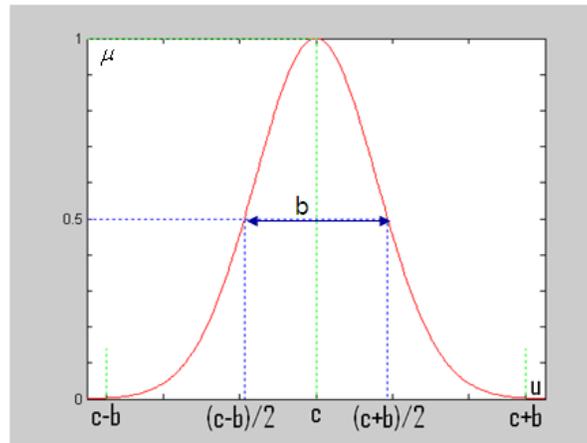


Fig. 11 Función de membresía de tipo π (con forma de campana).

2.1.4 Variable lingüística

Se denomina variable lingüística a aquella variable que puede tomar por valor términos del lenguaje natural, como *mucho*, *poco*, *positivo*, *negativo*, etc., que son las palabras que desempeñan el papel de etiquetas en un conjunto difuso. A una variable lingüística podrán asignarse tanto palabras tomadas del lenguaje natural, como valores numéricos; así, en una expresión como la *temperatura es fría*, la variable *temperatura* debe ser entendida como una variable lingüística, pues se le asigna como valor el conjunto difuso *fría*, pero además esta variable puede también tomar valores numéricos como la *temperatura es 4°C*.

En términos más formales, una variable lingüística se define por una tupla $(A, T(A), U, G, M)$ donde A es el nombre de la variable, $T(A)$ es el conjunto de términos que nombran los valores x que puede tomar A , valores que son difusos en U ; el conjunto de valores numéricos que puede tomar una variable discreta, o el rango de valores posibles para una variable continua, es lo que se conoce como el *universo de discurso* de la variable x , y se denomina U ; por último, G es una regla sintáctica para la generación de los nombres de los valores de x , y M es una regla semántica para asociar un significado a cada valor.

El siguiente ejemplo permitirá comprender el sentido de estos términos formales. *Temperatura* puede considerarse como una variable lingüística, de modo que podemos escribir $A = \text{temperatura}$. $T(\text{temperatura})$ es el conjunto de todos los términos que pueden hacer referencia a la temperatura, como *muy fría, fría, normal, alta, muy alta*, pero también *agradable, suave, cortante*, etc. El universo de discurso U de esta variable va, en general, desde el cero absoluto al infinito, pero en aplicaciones normales se suele restringir al rango de temperatura que pueden presentarse en ella (por ejemplo temperatura entre 0 y 40° C) [10].

2.1.5 Particiones difusas

Se conoce como *partición* a un conjunto de los conjuntos difusos que se han definido para la variable A . Una *partición* de A es uno de los subconjuntos que puede formarse con los elementos (términos) de $T(A)$. Se dice que *una partición es completa* si para todos los valores posibles de U existe en la partición un conjunto con membresía no nula (es decir, los conjuntos definidos cubren todo U); así, *completitud* es el porcentaje de los elementos de U para los que existe en la partición un conjunto con membresía no nula frente al total de elementos de U . Dos conjuntos difusos están *solapados* si su intersección es no nula; de este modo, el solapamiento de un conjunto difuso es la relación del número de elementos que comparte con otros conjuntos de la misma partición, respecto del número total de elementos que lo forman [10].

2.1.6 Medidas difusas

Dado un conjunto difuso A , se definen ciertas magnitudes mensurables del conjunto, que se conocen como *medidas difusas*. Una de las principales es *qué tan difuso se es*. Si llamamos C al conjunto discreto de los valores x en los que $\mu_A(x) > 0$, el saber qué tan difuso se es indica la distancia de A al conjunto discreto C . En otras palabras, la magnitud nos indica qué tan difuso es el conjunto.

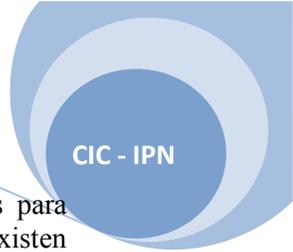
Por otro lado, *la distancia entre dos conjuntos difusos* A y C se pueden definir utilizando diversas medidas. Las más frecuentes son las siguientes:

- **Hamming** $f(A) = \sum |\mu_A(x) - \mu_C(x)|$ (7)
- **Euclídea** $f(A) = (\sum (\mu_A(x) - \mu_C(x))^2)^{\frac{1}{2}}$ (8)
- **Minkowski** $f(A) = (\sum (\mu_A(x) - \mu_C(x))^w)^{\frac{1}{w}}$ con $w \in [1, \infty)$ (9)

Otra medida que puede definirse es la *similitud*, la cual mide el parecido entre dos conjuntos, que en su forma básica es una extensión de la distancia entre conjuntos. Además, también tenemos la *entropía difusa*, que nos indica sobre cuánta información aporta este conjunto a la descripción de la variable x . Se define para un conjunto difuso A como:

$$f(A) = -\sum\{\mu_A(x) * \log(\mu_A(x))\} + \{(1 - \mu_A(x)) * (\log(1 - \mu_A(x)))\} \quad (10)$$

Por último, el *agrupamiento difuso* o *fuzzy clustering* es una técnica que se introduce para alcanzar una determinada representación de un espacio vectorial de vectores de entrada. Se basa en la medición de las distancias euclídeas entre vectores, y se utiliza para determinar las reglas difusas



que describen un sistema desconocido o caja negra. Uno de los métodos más conocidos para realizar el agrupamiento difuso es el método denominado de *k*-medias (*k-means*), aunque existen otras técnicas, como las basadas en la entropía, o bien en los métodos de minimización energética [10].

2.1.7 Operaciones difusas

Sean los conjuntos difusos identificados por las etiquetas A y B, asociados a una variable lingüística x, para ellos pueden definirse tres operaciones básicas: *complemento*, *unión* e *intersección*. Estas operaciones básicas pueden expresarse de la siguiente manera en términos de las funciones de membresía de los conjuntos difusos A y B (que coinciden con las operaciones del mismo nombre que se definen habitualmente para los conjuntos clásicos):

TABLA I Operaciones difusas		
	Operación	Rango
Igualdad	$\mu_A(x) = \mu_B(x)$	$x \in U$
Unión	$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A, \mu_B]$ (11)	$\forall x \in U$
Intersección	$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A, \mu_B]$ (12)	$\forall x \in U$
Complemento	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ (13)	$x \in U$
Norma	$\mu_{Norma(A)}(x) = \frac{\mu_A(x)}{\max[\mu_A(x)]}$	$x \in U$
Concentración	$\mu_{Conc(A)}(x) = (\mu_A(x))^2$	$x \in U$
Dilatación	$\mu_{Dilat(A)}(x) = (\mu_A(x))^{1/2}$	$x \in U$

Las funciones correspondientes a la definición de la unión y la intersección pueden generalizarse, a condición de cumplir ciertas restricciones. Las funciones que cumplen estas condiciones se conocen respectivamente como *Conorma Triangular (T-Conorma)* y *Norma Triangular (T-Norma)*. Algunas de las más usadas son las siguientes:

TABLA II Conormas y Normas (14)	
Conormas	Normas
MAX(a,b)	MIN(a,b)
(a+b-ab)	(ab)
$a \dot{+} b = \text{MIN}(1, a + b)$	$A * b = \text{MAX}(0, a+b-1)$

Por otro lado, la concentración y la dilatación se conocen como *modificadores*, ya que permiten formalizar el tipo de modificadores aplicados sobre un mismo término en el lenguaje común, como por ejemplo, *muy* o *más o menos*. Por ejemplo, para el conjunto difuso F en U, $F = \text{frío}$, el conjunto *muy frío* puede definirse de la forma siguiente:

$$\mu_{muy F}(u) = (\mu_F(u))^2 \tag{15}$$

Ya que al calcular el cuadrado de un número entre 0 y 1 se obtiene un valor más pequeño, con lo que esta operación causa una concentración de la función de membresía original (la hace más

estrecha), lo que implica disponer de una función más exigente para decidir que un valor es *frío*, representando así el término *muy frío*.

Por otra parte, el conjunto *más o menos frío* puede definirse como:

$$\mu_{\text{mas o menos } F}(u) = (\mu_F(u))^{1/2} \quad (16)$$

Pues al calcular la raíz cuadrada de un número entre 0 y 1 se obtiene un valor más grande, es decir, esta operación causa una dilatación sobre la función de membresía de partida, siendo de esta manera menos exigente para decidir si un valor corresponde a *frío*, por lo que se tendría el término *más o menos frío* [10].

2.1.8 Inferencia difusas

También, como en el caso de la lógica clásica, la lógica difusa se ocupa del razonamiento formal con proposiciones, pero a diferencia de ésta, los valores de las proposiciones pueden tomar valores intermedios entre verdadero y falso.

De la misma forma que se define un isomorfismo entre la lógica y la teoría de conjuntos clásicos, es posible también definir un isomorfismo entre la lógica y la teoría de conjuntos difusos, y éstas a su vez con el Álgebra de Boole. De esta forma, los conjuntos difusos también representan predicados en la lógica proposicional.

2.1.8.1 Principio de extensión

El principio de extensión permite convertir conceptos no difusos en difusos, siendo además la base de la inferencia difusa en los sistemas difusos. Sean U y V dos universos de discurso y f una función de U a V . En general, para un conjunto difuso A en U el *principio de extensión* define un conjunto difuso B en V dado por:

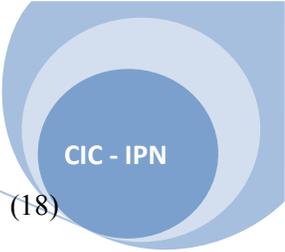
$$\mu_B(v) = \sup_{u \in f^{-1}(v)} [\mu_A(u)] \quad (17)$$

Es decir $\mu_B(v)$ es el máximo de $\mu_A(u)$ para todos los $u \in U$ que cumplen que $f(u) = v$, donde $v \in V$ y suponemos que $f^{-1}(v)$ no es vacío. Si $f^{-1}(v)$ es vacío para algún $v \in V$, definiremos $\mu_B(v) = 0$.

2.1.8.2 Relación difusa

Para dos universos de discurso U y V , una *relación difusa* se define como un conjunto difuso R en el espacio $U \times V$, cuya función de membresía se denota como $\mu_R(u, v)$ con $u \in U$ y $v \in V$.

Puede definirse también la *composición Sup-Star* $R \circ S$ para dos relaciones difusas R y S en $U \times V$ y $V \times W$, respectivamente, como otra relación difusa con la siguiente función de membresía:



$$\mu_{R \circ S}(u, w) = \sup_{v \in V} [\mu_R(u, v) * \mu_S(v, w)] \tag{18}$$

Donde $u \in U, v \in V, w \in W$, y el operador $*$ puede ser cualquier T -Norma definidas en la Tabla II.

En resumen, la composición *Sup-Star* de dos relaciones difusas $R \circ S$ es un conjunto difuso en $U \times W$. También es posible que S sea, en vez de una relación simplemente, un conjunto difuso en V , en cuyo caso la expresión $\mu_S(v, w)$ en la ecuación anterior será simplemente $\mu_S(v)$, y $\mu_{R \circ S}(u, w)$ será $\mu_{R \circ S}(u)$.

Dependiendo de la elección particular para el operador $*$ (ecuaciones en la Tabla II), se pueden tener distintos casos particulares de relaciones difusas, siendo otras de las más habituales la *Sup-Min* (operador *MIN*) y la sup-producto (operador *producto*).

2.1.8.3 Modus ponens generalizado y modus tolens generalizado

Las reglas difusas son básicamente de tipo *IF-THEN (Si-Entonces)* y expresan una relación o proposición difusa. En lógica difusa el razonamiento no es preciso, sino aproximado, lo cual quiere decir que se puede inferir de una regla la conclusión, aunque el antecedente (premisa) no se cumpla plenamente. Existen dos métodos básicos de inferencia entre reglas o leyes de inferencia, el *modus ponens generalizado (GMP)* y el *modus tolens generalizado (GMT)*, que presentan extensiones o generalizaciones del razonamiento clásico. El GMP se conoce como *razonamiento directo* y puede resumirse de la siguiente forma:

(Conocimiento): Si x es A Entonces y es B

(Hecho): x es A'

(Consecuencia): y es B'

Donde A, A', B y B' son conjuntos difusos. Esta relación se expresa también como $B' = A' \circ R$.

TABLA III Criterios intuitivos para GMP		
	x es A'	y es B'
criterio 1	x es A	y es B
criterio 2-1	x es muy A	y es muy B
criterio 2-2	x es muy A	y es B
criterio 3-1	x es más o menos A	y es más o menos B
criterio 3-2	x es más o menos A	y es B
criterio 4-1	x no es A	y es desconocido
criterio 4-2	x no es A	y no es B

La tabla anterior muestra diversos criterios que pueden aplicarse para la selección del conjunto B' de la consecuencia en función del conjunto difuso A' empleado en el hecho. El *modus ponens generalizado* es equivalente al *modus ponens clásico* para el criterio 1 (es decir, ambos coinciden si $A = A'$ y $B = B'$). Por otra parte, los criterios 1 a 3-2 están de acuerdo con el sentido común. Por último, debe destacarse que aunque el criterio 4-2 no es válido en la lógica formal, el hecho es que se utiliza en el razonamiento común (muchas gente lo usa en la vida corriente).

El GMT se conoce como *razonamiento inverso* y puede resumirse de la forma siguiente:

(Conocimiento): $Si\ x\ es\ A\ Entonces\ y\ es\ B$

(Hecho): $y\ es\ B'$

(Consecuencia): $x\ es\ A'$

Lo que se expresa como $A' = B'$ o R.

La siguiente tabla muestra diversos criterios que pueden aplicarse para la selección de A' de la consecuencia en función del conjunto difuso B' utilizado en el hecho. El GMT generalizado es equivalente al *modus tolens clásico* para el criterio 5 (coincide si $A' = \text{no } A$ y $B' = \text{no } B$); por su parte, los criterios 5 a 8-2 están de acuerdo con el sentido común. Finalmente, hay que destacar como en el caso anterior, que el criterio 8-2 no es válido en la lógica formal, pero se utiliza en el razonamiento común.

TABLA IV Criterios intuitivos para GMT		
	y es B'	x es A'
criterio 5	y no es B	x no es A
criterio 6	y no es muy B	x no es muy A
criterio 7	y no es más o menos B	x no es más o menos A
criterio 8-1	y es B	x es desconocido
criterio 8-2	y es B	x es A

2.1.8.4 Implicación difusa

Si se definen dos conjuntos difusos A y B en U y V, respectivamente, una implicación difusa de A en B que se indica con $A \rightarrow B$ es una relación difusa en $U \times V$, que puede venir definida por alguna de las siguientes funciones de membresía [10]:

TABLA V Funciones de membresía		
Conjunción difusa	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_A(u) * \mu_B(v)$	(19)
Disyunción difusa	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_A(u) \dot{+} \mu_B(v)$	(20)
Implicación material	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_{\bar{A}}(u) \dot{+} \mu_B(v)$	(21)
Cálculo proposicional	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_{\bar{A}}(u) \dot{+} \mu_{A * B}(v)$	(22)
Modus ponens generalizado	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \sup\{c \in [0,1] \mu_A(u) * c \leq \mu_B(v)\}$	(23)
Modus tolens generalizado	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \inf\{c \in [0,1] \mu_B(u) \dot{+} c \leq \mu_A(v)\}$	(24)

2.1.9 Reglas difusas

Las reglas difusas combinan uno o más conjuntos difusos de entrada, llamados *antecedentes* o *premisas*, y les asocian un conjunto difuso de salida, llamado *consecuente* o *consecuencia*. Los conjuntos difusos de la premisa se asocian mediante conjuntivas como *y*, *o*, etc. Una regla típica, de tipo *IF-THEN*, para un sistema de control sería “*Si error es positivo_pequeño y derivada_error es negativo_pequeño Entonces acción es positiva_pequeña*”, que se suele expresar abreviadamente mediante expresiones del tipo *Si E es PP y dE es NP Entonces U es PP*.

Las reglas difusas permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedentes y consecuentes. Para expresar este conocimiento de forma completa se precisa

normalmente de varias reglas que se agrupan formando lo que se conoce como una *base de reglas*, es decir, el conjunto de reglas que expresan las relaciones conocidas entre antecedentes y consecuentes.

La base de reglas se puede presentar, bien como una tabla de las reglas que la forman o bien como una *memoria asociativa difusa* o FAM (*Fuzzy Associative Memory*). Las FAM son matrices que representan la consecuencia de cada regla definida para cada combinación de dos entradas. Las FAM permiten realizar una representación gráfica clara de las relaciones entre dos variables lingüísticas de entrada y la variable lingüística de salida, pero requiere que se indiquen explícitamente todas las reglas que se pueden formar con estas dos variables de entrada. Cuando el número de conjuntos de cada una de las particiones de entrada crece, las FAM se hacen difícilmente manejables. Es posible también definir FAM de más de dos dimensiones, pero su tamaño se hace rápidamente excesivo y son más difíciles aún de manejar. En su lugar se suele trabajar con varias FAM de dimensiones dos, para así definir subconjuntos de reglas que asocien las entradas de dos en dos en la base de reglas general. Formalmente, una *base de reglas difusa* es una colección de reglas $R^{(l)}$ con el formato:

$$R^{(l)}: IF x_1 \text{ is } F_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^l \text{ THEN } y \text{ is } G^l \quad (25)$$

Donde F_i^l y G^l son conjuntos difusos en $U_i \subset \mathfrak{R}$ y $V \subset \mathfrak{R}$, respectivamente, y $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in U_1 \times \dots \times U_n$ e $y \in V$ son variables lingüísticas. Este formato de reglas se conoce como *difuso puro* o *de tipo Mamdani* por ser quien primero las propuso para realizar un controlador difuso que estabiliza un sistema en torno a su punto de trabajo. Otro formato frecuente para las reglas es el llamado *de tipo Sugeno*. En este caso, la función de salida es una combinación lineal de las variables de entrada, o en un caso más general, una función genérica de las variables de entrada.

$$R^{(l)}: IF x_1 \text{ is } F_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^l \text{ THEN } y^l = f^l(x) \quad (26)$$

Si llamamos M al número de reglas *IF-THEN* de la base de reglas entonces $l = 1, 2, \dots, M$ en las dos últimas ecuaciones.

El vector x representa el conjunto de las entradas, mientras que y es la salida del sistema difuso. Los sistemas difusos descritos con n entradas x_i y una sola salida y , se conocen como MISO (*Multiple Input Single Output*), mientras que los que tienen varias salidas (de 1 hasta k) se conocen como MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Para estos últimos sistemas, se puede generalizar el formato anterior de las reglas, o bien descomponerlo en k sistemas de tipo MISO [10].

2.1.10 Dispositivos de inferencia difusa

Se llaman *dispositivos de inferencia difusa* a los sistemas que interpretan las reglas de tipo IF_THEN de una base de reglas, con el fin de obtener los valores de salida a partir de los actuales valores de las variables lingüísticas de entrada al sistema. En un sistema difuso las reglas de *tipo Mamdani* se interpretan como una implicación difusa de $F_1^l \times \dots \times F_n^l \rightarrow G^l$ en $U \times V$, con $U \equiv U_1 \times \dots \times U_n \subset \mathfrak{R}^n$, $V \subset \mathfrak{R}$. Si llamamos A' a la entrada en U del dispositivo de inferencia difusa, cada regla l define un conjunto difuso B^l en V utilizando la composición *Sup-Star*.

$$\mu_{B^l}(y) = \sup_{x \in U} [\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l \rightarrow G^l}(x, y) * \mu_{A'}(x)] \quad (27)$$

Como existen seis formas diferentes de implicación difusa, podemos proponer seis interpretaciones de la ecuación anterior para la ejecución de la implicación difusa definida por una regla de *tipo Mamdani*, dependiendo de las normas y conormas concretas que se empleen. Para simplificar las ecuaciones siguientes llamaremos $F_1^l \times \dots \times F_n^l \equiv A$ y $G^l \equiv B$, con lo que la ecuación (25) puede expresarse simplemente como $A \rightarrow B$.

TABLA VI Implicaciones difusas	
Por regla del mínimo	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}$ (28)
Por regla del producto	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x)\mu_B(y)$ (29)
Por regla aritmética	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min\{1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)\}$ (30)
Por regla Max-min	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{\min[\mu_A(x), \mu_B(y)], 1 - \mu_A(x)\}$ (31)
Por regla Booleana	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{1 - \mu_A(x), \mu_B(y)\}$ (32)
Por regla de Goguen	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \begin{cases} 1 & \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ \mu_B(y) / \mu_A(x) & \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases}$ (33)

En las ecuaciones anteriores aparece el término $\mu_A(x) = \mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(x)$, el que a su vez puede ser definido por la regla del mínimo:

$$\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(x) = \min\{\mu_{F_1^l}(x), \dots, \mu_{F_n^l}(x)\} \quad (34)$$

O por la regla del producto:

$$\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(x) = \mu_{F_1^l}(x) \dots \mu_{F_n^l}(x) \quad (35)$$

Para concluir, la *salida final* de un dispositivo de inferencia difusa puede consistir en:

- M conjuntos difusos B^l , con $l = 1, 2, \dots, M$, según la ecuación (27), cada uno de los cuales es el resultado de aplicar la entrada A' a cada una de las M reglas de la base de reglas.
- Un único conjunto difuso B' , que es la unión de los M conjuntos difusos B^l calculados según:

$$\mu_{B'}(y) = \mu_{B^1}(y) \dot{+} \dots \dot{+} \mu_{B^M}(y) \quad (36)$$

- M escalares y^l , con $l = 1, 2, \dots, M$, si las reglas son de *tipo Sugeno*, según la ecuación (26), cada uno de los cuales es el resultado de aplicar la entrada A' a cada una de las M reglas de la base de reglas [10].

2.1.11 Fusificador (fuzzifier)

El *fusificador* establece una relación entre puntos de entrada no difusos al sistema $x = (x_1, \dots, x_n)^T$, y sus correspondientes conjuntos difusos A en U (las variables procedentes del exterior serán, en general, valores no difusos, y habrá que fusificarlas previamente). Se pueden utilizar diversas estrategias de fusificación:

- a) **Fusificador Singleton.** Es el método de fusificación más utilizado, principalmente en sistemas de control, que consiste en considerar los propios valores discretos como conjuntos difusos. De otra forma, para cada valor de entrada x se define un conjunto A' que lo soporta, con función de membresía $\mu_{A'}(x')$, de modo que $\mu_{A'}(x) = 1$, ($x'=x$), y $\mu_{A'}(x') = 0$, para todos los otros $x' \in U$ en los que $x' \neq x$.
- b) **Fusificador no Singleton.** En este método de fusificación se utiliza una función exponencial del tipo siguiente:

$$\mu_{A'}(x') = a \cdot \exp\left[-\left(\frac{x'-x}{\sigma}\right)^2\right] \quad (37)$$

Función con forma de campana, centrada en el valor x de entrada, de anchura σ y amplitud a [10].

2.1.12 Defusificador (defuzzifier)

El *defusificador* es la función que transforma un conjunto difuso V , normalmente salida de un dispositivo de inferencia difusa, en un valor no difuso $y \in V$. Para esta tarea se utilizan diversos métodos:

- a) **Defusificador por máximo**, definido como:

$$y = \text{argsup}_{y \in V}(\mu_{B^l}(y)) \quad (38)$$

Es decir, y es el punto de V en que $\mu_{G^l}(y)$ alcanza su valor máximo, donde $\mu_{B^l}(y)$ está definido según la ecuación (36) (la unión de los B^l de salida).

- b) **Defusificador por media de centros**, definido como:

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l}(\mu_{B^l}(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M (\mu_{B^l}(y^{-l}))} \quad (39)$$

Donde y^{-l} representa el centro de gravedad del conjunto difuso G^l (definido como el punto de V en el que $\mu_{G^l}(y)$ alcanza su valor máximo), y $\mu_{B^l}(y)$ está definido según 27.

- c) **Defusificador por centro de área**, definido como:

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M M^l(\mu_{B^l}(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M A^l(\mu_{B^l}(y^{-l}))} = \frac{\sum_{l=1}^M \int_V \mu_{B^l}(y^{-l})^2 dy M^l(\mu_{B^l}(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M \int_V \mu_{B^l}(y^{-l}) dy} \quad (40)$$

Donde M^l es el momento (en torno al eje y al universo de discurso de la salida V) de la función de membresía del conjunto difuso G^l , A^l es el área, y $\mu_{B^l}(y)$ está definida según la ecuación (27).

Estos métodos de fusificación son los empleados para obtener el valor de salida no difusa de un dispositivo de inferencia difusa que utiliza reglas de *tipo Mamdani* (ecuación 25). Si las reglas utilizadas son del *tipo Sugeno* (ecuación 26), el valor de salida no difusa se obtiene como media ponderada de las salidas de cada regla de la base de reglas según

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M y^l(\mu_{A^l}(x))}{\sum_{l=1}^M (\mu_{A^l}(x))} \quad (41)$$

Donde y^l es la salida de la regla l , y el término $\mu_{A^l}(x)$ se calcula utilizando (34) o (35) (reglas del mínimo y del producto, respectivamente). Este valor y^l de la salida de una regla del tipo *Sugeno* (ecuación 26) se calcula frecuentemente como una combinación lineal de las entradas [10]:

$$y^l = f_l(x) = a_{1,0} + \sum_{i=1}^n a_{l,i} x_i \quad (42)$$

2.1.13 Desarrollo de sistemas difusos

Tras describir el amplísimo abanico de posibilidades para los aspectos de un sistema difuso, expondremos algunas de las elecciones más comunes. La selección de los detalles concretos de implementación del sistema difuso dependerá de diversos condicionantes. Hablando en términos generales, los principales son:

- **Eficiencia computacional.** Para problemas complejos, con muchas variables lingüísticas o muchas reglas, o en realizaciones en microcontroladores de poca capacidad de cálculo y poca memoria, resulta fundamental seleccionar métodos que no requieran muchos cálculos o mucha memoria. Así, son preferibles en este caso funciones de membresía triangulares o trapezoidales frente a las exponenciales, y el cálculo de máximos frente a multiplicaciones. Además, el uso de las funciones de membresía de tipo *Singleton* para la salida que producen sistemas más simples, aunque son más sensibles al ruido de las entradas.
- **Facilidad de adaptación.** En aplicaciones en las que se requiere que el sistema pueda realizar aprendizajes puede ser necesario que la función de salida $y = f(x)$ sea derivable respecto de los parámetros que se han de ajustar. En este caso, por el contrario, son preferibles funciones de membresía exponenciales frente a las funciones triangulares o trapezoidales, y las multiplicaciones frente al cálculo de máximos [10].

2.1.13.1 Opciones más habituales en el desarrollo de sistemas difusos

Expondremos a continuación algunas de las opciones más utilizadas para el diseño de los sistemas difusos más no las únicas.

- a) Un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros (ecuación 39), implicación difusa por la regla del producto (29 y 35), y fusificador *Singleton*, produce la siguiente función de salida:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} \left(\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i) \right)}{\sum_{l=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i) \right)} \quad (43)$$

Donde y^{-l} es el centro de gravedad del conjunto difuso G^l (el punto de V en que $\mu_{G^l}(y)$ alcanza su valor máximo que se asume como $\mu_{G^l}(y) = 1$).

- b) Un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros (ecuación 39), implicación difusa por la regla del mínimo (28 y 34), y fusificador *Singleton*, produce la siguiente función de salida:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} \left[\min \left(\mu_{F_1^l}(x_1), \dots, \mu_{F_n^l}(x_n) \right) \right]}{\sum_{l=1}^M \left[\min \left(\mu_{F_1^l}(x_1), \dots, \mu_{F_n^l}(x_n) \right) \right]} \quad (44)$$

Donde y^{-l} es, de nuevo, el centro de gravedad del conjunto difuso G^l .

Como se ha indicado antes, en aplicaciones en las que se requiere que el sistema posea capacidad de aprendizaje puede resultar necesario que la función de salida $y = f(x)$ sea derivable respecto de los parámetros que se han de ajustar. Una elección frecuente en este caso es el empleo de funciones de membresía gaussianas:

$$\mu_{F_i^l}(x_i) = a_i^l \cdot \exp \left[- \left(\frac{x_i - x_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right] \quad (45)$$

Donde a_i^l y σ_i^l son los parámetros que dan la forma concreta de la gaussiana (amplitud y anchura, respectivamente). A partir de este tipo de función de membresía puede obtenerse el sistema difuso.

- c) Un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros (ecuación 39), implicación difusa por la regla del producto (29 y 35), y fusificador no *Singleton* con funciones de tipo gaussiano, produce la siguiente función de salida:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} \left(\prod_{i=1}^n a_i^l \cdot \exp \left[- \left(\frac{x_i - x_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right] \right)}{\sum_{l=1}^M \left(\prod_{i=1}^n a_i^l \cdot \exp \left[- \left(\frac{x_i - x_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right] \right)} \quad (46)$$

Este sistema es uno de los más utilizados en sistemas con entrenamiento. Los parámetros de este sistema son y^{-l} , a_i^l , x_i^l y σ_i^l , que suelen estar sometidos a ciertas restricciones: $y^{-l} \in V$, $a_i^l \in (0,1)$, $x_i^l \in U$ y $\sigma_i^l > 0$ [10].

- d) Un sistema de lógica difusa con media ponderada de las salidas de cada regla de la base de reglas (ecuación 41), implicación difusa por la regla del mínimo (28 y 34), y fusificador *Singleton* y el valor y^l de la salida de una regla del tipo *Sugeno* (ecuación 26) que se calcula mediante la ecuación 42.

En el siguiente capítulo expondremos el desarrollo de un subsistema difuso, lo que ilustrará muchos de los conceptos expuestos de una manera formal en el presente capítulo.

Sección 2. Oftalmología.

Esta segunda parte trata con relativa profundidad las cuestiones fundamentales de las cinco enfermedades que propenden a la ceguera a causa del deterioro que provocan en la retina, con el fin de dar a conocer los puntos clave que finalmente determinarán el prediagnóstico.

2.2.1 El glaucoma

El glaucoma es una enfermedad que puede dañar al nervio óptico del ojo. Su cuadro clínico completo se caracteriza en lo fundamental por el incremento de la presión intraocular, excavación y degeneración del disco óptico y típico daño de las fibras retinales que provocan defectos característicos en el campo visual. Esto resulta en alguna pérdida de la visión o en ceguera. Sin embargo, si se trata a tiempo, la persona puede proteger sus ojos contra una seria pérdida en la visión [11].

El nervio óptico está compuesto por más de un millón de fibras nerviosas que conectan la retina de cada ojo al cerebro. La retina es el tejido sensible a la luz ubicado como la capa más interna del ojo. Es necesario tener un nervio óptico saludable para tener buena visión [12]. En la retina están situados los elementos fotosensibles del ojo. La Fig. 12 muestra un corte transversal del globo ocular donde se muestran sus diferentes partes.

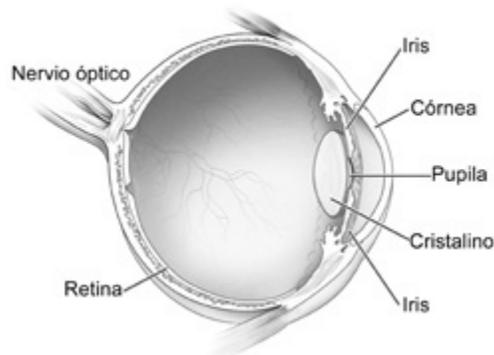


Fig. 12 Diagrama del corte transversal del globo ocular.

En la parte delantera del ojo existe un espacio llamado cámara anterior. Un líquido claro entra y sale continuamente de este espacio, el *humor acuoso*, alimentando los tejidos a su alrededor. El líquido sale de la cámara anterior a través del ángulo abierto donde se unen la córnea y el iris. Cuando el líquido llega al ángulo fluye a través de una red o malla esponjosa llamada malla o red trabecular, parecida a un colador, el que entonces sale del ojo (Fig. 13).

A veces, cuando el líquido llega al ángulo entre la córnea y el iris, pasa muy lentamente a través de esta malla esponjosa. Al acumularse este líquido, la presión dentro del ojo aumenta hasta llegar a un nivel en el que puede dañar al nervio óptico. Cuando el nervio óptico se daña por el aumento de la

presión, puede causar glaucoma de ángulo abierto y alguna pérdida de visión. Por eso es importante controlar la presión intraocular la cual es normal entre 10mm y 20mm de Hg.

El que una persona desarrolle glaucoma dependerá del nivel de presión intraocular (PIO) que su nervio óptico pueda tolerar sin que se dañe. Este nivel es diferente para cada persona. La Fig. 26 muestra cómo ve una persona con visión normal.

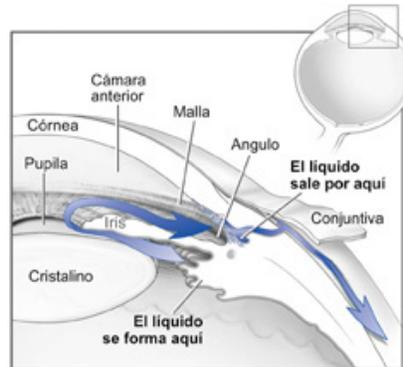


Fig. 13 Diagrama que indica el recorrido del humor acuoso.

Sin embargo, el glaucoma se puede desarrollar sin que aumente la presión dentro de los ojos. Este tipo de glaucoma se llama glaucoma de baja tensión o de tensión normal. Cualquier persona puede desarrollar glaucoma, pero algunas personas corren más riesgo que otras. Entre las personas que son más propensas a desarrollar el glaucoma se incluyen:

- Los afroamericanos mayores de 40 años.
- Todas las personas mayores de 60 años, especialmente las que son de descendencia mexicana.
- Las personas con familiares que han tenido glaucoma.

2.2.1.1 Tipos de glaucoma

Existen dos tipos principales de glaucoma: el glaucoma primario de ángulo cerrado y el glaucoma primario de ángulo abierto.

2.2.1.1.1 El glaucoma primario de ángulo cerrado

El *glaucoma primario de ángulo cerrado* aparece en los ojos anatómicamente predispuestos, como sucede en los globos oculares pequeños e hipermétropes [13]. El problema se origina porque la raíz del iris se halla adosada a la cara posterior de la córnea bloqueando el ángulo o estrechándolo en diverso grado. Este plegamiento de la raíz del iris a la cara posterior corneal puede deberse a diversas causas, como a una laxitud del tejido iridiano, a trastornos vasculares, etc. La PIO aumenta en este caso por término medio entre 45-60mm de Hg. [11].

Los glaucomas primarios de ángulo cerrado están asociados normalmente a un aumento pronunciado de la presión intraocular. Este grupo de enfermedades tienen en común la presencia de una barrera física completa o parcial en la salida del humor acuoso creada por el iris.

Dentro de este tipo de glaucoma hay una subdivisión de cuatro glaucomas: 1) *glaucoma agudo de ángulo cerrado*, 2) *glaucoma intermitente de ángulo cerrado*, 3) *glaucoma crónico de ángulo cerrado* y 4) *glaucoma de bloque ciliar* [14].

El cuadro que caracteriza el glaucoma agudo de ángulo cerrado es:

- intenso dolor ocular y cefalea del lado afectado
- náusea y posible vómito (compromiso vagal)
- disminución de la agudeza visual
- visión coloreada (halos o en arco iris)
- edema corneal con opacidad y pérdida de brillo
- pupila fija en mediana midriasis
- conjuntiva hiperémica y edematosa [11].

El *glaucoma intermitente de ángulo cerrado* existe si el ángulo de la cámara no está completamente bloqueado (es decir, no está cerrado en todo su recorrido), el aumento en la PIO es normalmente menos extremo y no dura mucho tiempo. En la mayoría de los casos, el paciente nota un dolor sordo en o alrededor del ojo y dolores de cabeza. Dependiendo de cuán alta sea la presión, el paciente también podría experimentar perturbaciones visuales transitorias. Estos episodios ocurren intermitentemente, por lo que se le da tal nombre.

El término, *glaucoma crónico de ángulo cerrado*, se refiere a un ojo con una PIO elevada. La cámara anterior es estrecha y cerrada en algunos lugares por sinequias, como se muestra en la Fig. 14.

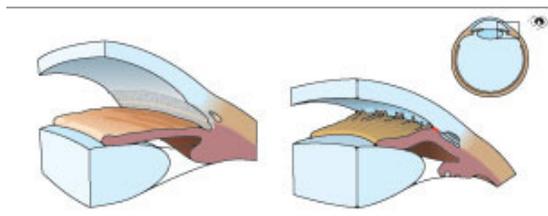


Fig. 14 Ángulo cerrado crónico con sinequias y adherencias. A la izquierda, un ángulo camerular normal para comparar.

Algunos pacientes padecen de oclusiones intermitentes. El iris no se libera completamente durante las "reaperturas". El glaucoma crónico de ángulo cerrado es, a veces, el resultado de ligeras inflamaciones intraoculares que pueden haber pasado totalmente inadvertidas.

El *glaucoma de bloque ciliar* es una forma muy rara de glaucoma, en el que el cuerpo ciliar toca el cristalino. Como resultado de esto, parte del humor acuoso se dirige hacia dentro de la cavidad vítrea en lugar de dirigirse al espacio por delante del cristalino. Esto, a su vez, empuja tanto al iris

como al cristalino hacia delante. Esta situación es muy infrecuente y la mayoría de las veces es la causa de una operación intraocular. La situación anatómica que predispone a un ataque se muestra en la figura 15, y el ataque agudo en sí mismo en la figura 16 [14].

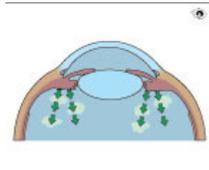


Fig. 15 En el glaucoma de bloqueo ciliar, el humor acuoso es dirigido hacia la cámara vítrea.

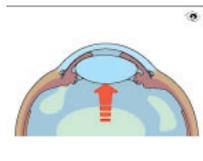


Fig. 16 El edema de la cámara vítrea empuja el diafragma del iris hacia adelante y da lugar al cierre del seno camerular.

2.2.1.1.2 El glaucoma primario de ángulo abierto

Este tipo de glaucoma se debe a un transporte o drenaje insuficiente del humor acuoso, a través del ángulo, hacia fuera del ojo [13]. El problema se genera a nivel del trabéculo, cuya porosidad se encuentra disminuida, o más allá, en el canal de Schlemm o las venas acuosas, con la retención del líquido y consiguiente aumento de la presión intraocular, la que en término medio aumenta entre 30-45mm de Hg. [11].

El glaucoma de ángulo abierto ha sido dividido tradicionalmente en: a) ojos que tienen daño glaucomatoso y PIO elevada (es decir, glaucoma de presión alta); b) ojos que tienen daño glaucomatoso pero PIO normal (es decir, glaucoma de presión normal, también conocido como glaucoma de tensión normal); y c) ojos que tienen una presión intraocular elevada pero sin daño visible en el nervio óptico. Esta clasificación es algo arbitraria (Fig. 17), ya que estos tres tipos son simplemente manifestaciones distintas de una única enfermedad.

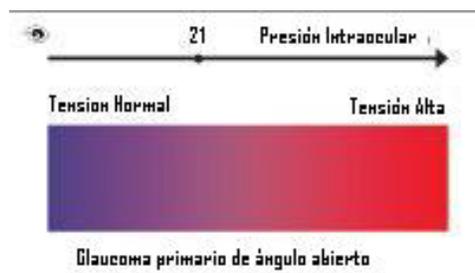


Fig. 17 GPAA: hay una transición gradual desde el glaucoma de presión alta; no existen niveles de presión definidos de forma precisa que separen a los dos.

Cuanta más alta sea la PIO, mayor es el riesgo de daño glaucomatoso; sin embargo, no hay un umbral claro y definitivo más allá del cuál la PIO cause daño. Cuánto más bajo sea el nivel de presión intraocular con el que ocurre daño a los tejidos, más probable es que se encuentren involucrados otros factores de riesgo.



Fig. 18 Cabeza del nervio óptico que muestra claramente el daño glaucomatoso en un paciente con PIO elevada.



Fig. 19 Cabeza del nervio óptico que muestra claramente el daño glaucomatoso en un paciente con PIO normal.

En general, los pacientes de glaucoma con una PIO normal desarrollan más frecuentemente hemorragia del disco óptico, y tienen una atrofia peripapilar más pronunciada (pérdida del tejido alrededor del disco óptico), una excavación algo más superficial, y un desplazamiento menor de los vasos de la cabeza del nervio óptico (Fig. 18 y Fig. 19). También son más comunes en el glaucoma de presión normal las alteraciones de capilares de la conjuntiva y la aparición de puntos retinianos brillantes (que en la literatura oftalmológica se llaman alteraciones similares a la “gliosis”).

El glaucoma de ángulo abierto con presión intraocular elevada es el *glaucoma crónico de ángulo abierto* (glaucoma *chronicum simplex*) en el más estricto sentido del término. También se conoce como glaucoma de presión alta o tensión alta y se caracteriza por una lenta pérdida de las células ganglionares de la retina con excavación del disco óptico y subsiguientes defectos en el campo visual. El factor de riesgo principal es la presión intraocular elevada, pero otros factores de riesgo adicionales también pueden estar presentes. Habitualmente, la PIO está ligeramente elevada, entre los 20 y 30mm de Hg, pero ocasionalmente puede alcanzar niveles entre 30 y 45mm de Hg.

Aunque el glaucoma crónico primario de ángulo abierto puede estar presente en los jóvenes, se hace más frecuente a medida que avanza la edad (Fig. 20), y es, por mucho, la forma más común de glaucoma [14].

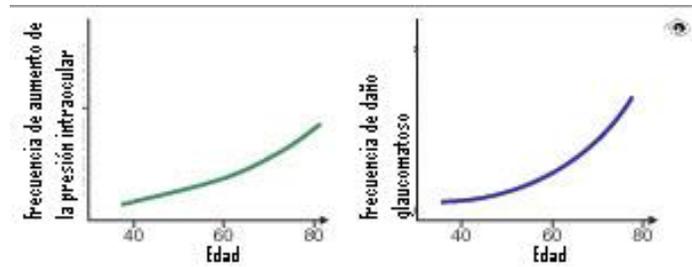


Fig. 20 La presión intraocular aumenta con la edad. El daño glaucomatoso puede ocurrir en cualquier momento. Debido a que es irreversible, el número de pacientes que tienen daño glaucomatoso aumenta entre la población de mayor edad.

Finalmente, cabe mencionar que existen otros tipos de glaucoma como el *glaucoma congénito*, el *glaucoma juvenil*, el *glaucoma infantil*, *glaucomas secundarios*, *glaucoma facogénico*, *glaucoma traumático* y *glaucoma agudo*; que para fines de esta tesis no es necesario describirlos [13].

2.2.1.2 Factores de riesgo para el glaucoma

Ahora se discutirán los factores de riesgo principales para el glaucoma que pueden tener una influencia más o menos pronunciada sobre el daño glaucomatoso del nervio óptico.

Presión intraocular

Cuanta más alta sea la PIO, con mayor probabilidad se producirá el desarrollo y la progresión del daño glaucomatoso (Fig. 21).

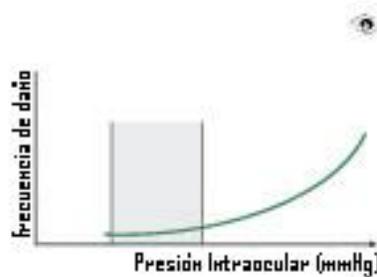


Fig. 21 Cuanto más alta sea la PIO, con mayor frecuencia se producirá el desarrollo del daño glaucomatoso. La sección gris representa la presión normal.

Edad

La aparición del daño glaucomatoso es aún más dependiente de la edad (Fig. 22). La razón de esto es que no sólo hay un aumento en los factores de riesgo, sino que, además, y esto es particularmente importante, se suma la pérdida de fibras nerviosas a lo largo de la vida. En la fase tardía del daño, se vuelve dramáticamente notable y la probabilidad de un empeoramiento subjetivo de la visión es mayor en la vejez. Pero, nuevamente, no es que el daño glaucomatoso progrese más rápidamente en la vejez, sino más bien que el lento deterioro se ha acumulado a lo largo de la vida del paciente.

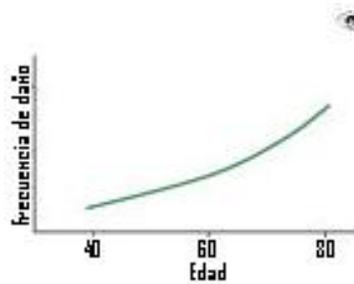


Fig. 22 Como el daño glaucomatoso es irreversible, su predominio aumenta con la edad.

Antecedentes familiares

Hasta cierto punto, el código genético de un paciente determina si puede tolerar sin daño un cierto nivel de PIO. Cuando hay antecedentes familiares de daño glaucomatoso, entonces se incrementan las probabilidades de aparición o progresión de un daño preexistente en el nervio óptico. Esto significa que alguien perteneciente a una familia en la cual numerosos miembros presentan daño glaucomatoso debería recibir un consejo especialmente cuidadoso y tratamiento, de ser necesario.

Raza

El origen étnico ciertamente influye tanto sobre la PIO como sobre el daño del nervio óptico. Sin embargo, debe reiterarse que no es fácil distinguir entre una predisposición genética y la influencia de las condiciones medioambientales. Los pacientes de descendencia africana generalmente tienen una PIO más alta y una mayor probabilidad de desarrollar daño a un cierto nivel de presión (Fig. 23), y por eso requieren de un tratamiento particularmente intenso.

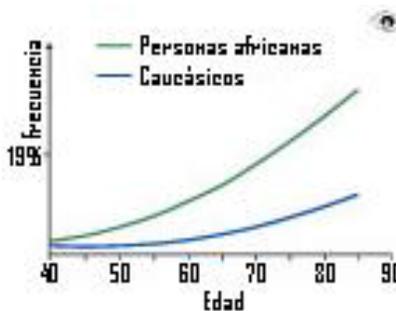


Fig. 23 El daño glaucomatoso es más frecuente entre las personas de raza africana que entre los caucásicos.

Género

Aunque no hay ninguna diferencia en la PIO entre los sexos, las mujeres tienen glaucoma de tensión normal más frecuentemente que los hombres. Pero, adicionalmente, las mujeres con glaucoma primario de ángulo abierto y una PIO elevada tienen un riesgo ligeramente más alto de desarrollar daño glaucomatoso a un cierto nivel de presión que los hombres.

La arteriosclerosis

En realidad, parece que la arteriosclerosis no aumenta la probabilidad de desarrollar daño glaucomatoso. Esto es muy sorprendente, porque actualmente se sabe que el paciente promedio de

glaucoma sufre de una reducción en la perfusión ocular. Esto significa que es más probable que las personas que padecen de arteriosclerosis tengan una PIO más elevada que los sujetos sanos de la misma edad sin arteriosclerosis.

Miopía e hipermetropía

Aunque los hipermétropes (ven mejor de lejos) tienen un riesgo más alto de desarrollar glaucoma agudo de ángulo cerrado, no tienen una mayor sensibilidad a la presión intraocular. Para los miopes, por el contrario, la situación es un tanto diferente: el ojo miope tiene una mayor sensibilidad a la presión. Esto significa que alguien que es miope es más probable que experimente daño del nervio óptico que un emétrope con la misma PIO.

Diabetes mellitus

La diabetes es una enfermedad importante que puede llevar a daños oculares severos. La retinopatía diabética puede llevar a niveles de PIO peligrosamente elevados como una complicación temida. Sin embargo, hoy se considera la diabetes *mellitus* como de menor importancia, o incluso puede constituir una protección contra el daño glaucomatoso.

La apariencia de la papila

Teóricamente, parece posible que una papila ya dañada pudiera ser más susceptible a un aumento de la PIO. En este caso, sería un factor de riesgo. Pero también es posible que sólo sea un indicador de riesgo. Si el paciente ha padecido daños previos, las posibilidades de un deterioro subsiguiente son altas si las causas todavía no han sido eliminadas. Las hemorragias cerca de o en la papila son claros factores de riesgo y apuntan a la progresión del daño existente.

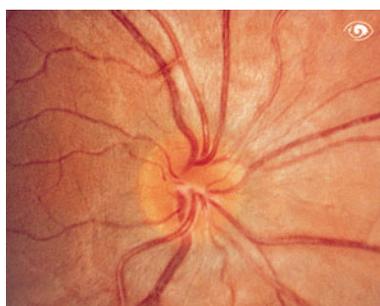


Fig. 24 Papila normal relativamente pequeña.

El tamaño de la papila es importante para evaluar las condiciones del nervio óptico: dado que el número de fibras nerviosas es aproximadamente el mismo en todas las personas sanas, hay algún “espacio vacío” en el centro de aquellos que tienen una papila grande. Esto se llama excavación normal (o fisiológica); la cual es bastante constante en los individuos sanos. La figura 24 muestra una papila normal pequeña, y la figura 25 una papila grande pero también normal.



Fig. 25 Papila normal con excavación fisiológica relativamente grande.

2.2.1.3 Exámenes para detectar el glaucoma

El glaucoma se detecta mediante un examen completo de los ojos que incluye:

Gonioscopía

Es un método de examen biomicroscópico del ángulo de la cámara anterior mediante el cual podemos hacer la clasificación de los glaucomas en dos grandes grupos antes descritos, "ángulo abierto" y "ángulo cerrado".

Fondo de ojo

El glaucoma causa irregularidad del contorno de la excavación papilar o copa, incremento en la profundidad de la misma, exposición de la lámina cribosa, desplazamiento nasal de los vasos centrales de la retina y palidez de la cabeza del nervio óptico que progresivamente se extiende a toda la superficie del disco óptico. Estos cambios se relacionan en su evolución en el tiempo, aunque no absolutamente, con la severidad del compromiso de pérdida del campo visual. Un dato importante a recordar es que los cambios en el aspecto de la excavación o copa "preceden" a la pérdida del campo visual [11].



Fig. 26 Visión normal de una persona.



Fig. 27 Visión de una persona que tiene glaucoma.

Prueba de agudeza visual

En esta prueba se usa una tabla optométrica para medir la vista a diferentes distancias.

Prueba del campo visual (Campimetría)

Esta prueba mide la visión lateral (periférica). Ayuda a determinar si se tiene una pérdida en la visión lateral, lo cual es una señal de glaucoma (Fig. 27) [12].

La visión central, dependiente de las fibras maculares, se mantiene hasta los últimos estadios del proceso glaucomatoso, constituyendo lo que se llama la "visión tubular" del glaucomatoso terminal [11].

Examen con dilatación de las pupilas

Para dilatar o agrandar las pupilas, se utilizan unas gotas en los ojos. Mirando a través de un lente de aumento especial para examinar la retina y el nervio óptico se puede observar si hay señales de daño u otros problemas de los ojos.

Tonometría

Es la medida de la resistencia del ojo a ser deformado por fuerzas o pesos aplicados sobre su superficie. Mide la "presión ocular", o sea la resultante de una fuerza (F), en este caso proveniente del tonómetro, aplicada sobre una superficie (S) que viene a ser la córnea.

Paquimetría

Se aplica una gota en el ojo para adormecerlo. El oculista utiliza un instrumento de ondas ultrasónicas para medir la densidad de la córnea.

2.2.2 La retinopatía diabética

Un 60 %, aproximadamente de los diabéticos padece retinopatía 15 o 20 años después de ser diagnosticados de su enfermedad. Este proceso es una causa importante de la ceguera en EE UU y en Europa [13].

La diabetes *mellitus* es una enfermedad que afecta la capacidad del organismo de usar y almacenar azúcar. La enfermedad se caracteriza por concentraciones elevadas de azúcar en la sangre, sed excesiva y aumento de la excreción de orina, así como cambios en los vasos sanguíneos del cuerpo. La diabetes también puede causar trastornos graves en los ojos. Pueden aparecer cataratas, glaucoma, y un efecto muy importante: cambios en los vasos sanguíneos en el fondo de ojo [15].

La retinopatía diabética es una complicación de la diabetes y una de las causas principales de la ceguera. Ocurre cuando la diabetes daña a los pequeños vasos sanguíneos de la retina, que es el tejido sensible a la luz situado en la parte posterior del ojo. Para tener buena visión, es necesario tener una retina saludable.

Si se tiene retinopatía diabética, al principio no se notará ningún cambio en la visión, pero con el tiempo la retinopatía diabética puede empeorar y causar una pérdida en la visión. Generalmente la retinopatía diabética afecta ambos ojos [16].

2.2.2.1 Tipos de retinopatía

Hay dos tipos de retinopatía:

- **Retinopatía básica.** El espesor de las membranas basales varía, los pericitos degeneran, y aparecen microaneurismas y cortocircuitos arteriovenosos. A veces, los trombos que se forman en los microaneurismas capilares pueden llegar a obstruir a esos vasos; en las áreas de retina isquémica, se forman cortocircuitos entre los vasos intrarretinianos.
- **Retinopatía proliferativa.** Aparece secundariamente a la isquemia e hipoxia (falta de oxígeno) intensas de la retina. Los nuevos capilares carecen de buen soporte y tampoco están bien formados; es frecuente que sangren cuando se extienden a la cavidad del vítreo. La neovascularización y el desarrollo de un componente fibroso suelen acabar en el desprendimiento de la retina [13].

La retinopatía diabética proliferativa tiene cuatro etapas:

1. **Retinopatía no proliferativa ligera.** Esta es la etapa más temprana de la enfermedad en la que aparecen los microaneurismas. Estas son pequeñas áreas de inflamación, que parecen ampollas, en los pequeños vasos sanguíneos de la retina.
2. **Retinopatía no proliferativa moderada.** Según avanza la enfermedad, algunos vasos sanguíneos que alimentan la retina se obstruyen.
3. **Retinopatía no proliferativa severa.** En esta etapa muchos más vasos sanguíneos se bloquean, haciendo que varias partes de la retina dejen de recibir sangre. Entonces estas áreas de la retina envían señales al cuerpo para que haga crecer nuevos vasos sanguíneos.
4. **Retinopatía proliferativa.** En esta etapa avanzada, las señales enviadas por la retina para alimentarse causan el crecimiento de nuevos vasos sanguíneos. Por esto se le llama retinopatía proliferativa. Estos nuevos vasos sanguíneos son anormales y frágiles. Crecen a lo largo de la retina y de la superficie del gel vítreo, que es el gel incoloro que llena el interior del ojo (humor vítreo).

Por sí mismos, estos vasos sanguíneos no causan ningún síntoma o pérdida de la visión. Sin embargo, tienen paredes muy delgadas y frágiles. Si llegaran a gotear sangre, podría haber una pérdida severa en la visión o incluso resultar en la ceguera.

Todas las personas con diabetes, tanto del tipo 1 como del tipo 2, corren riesgo. Por eso, todas las personas con diabetes deben hacerse un examen completo de la vista con dilatación de las pupilas por lo menos una vez al año. Entre el 40% y el 45% de los norteamericanos diagnosticados con diabetes tienen algún nivel de retinopatía diabética.

La retinopatía diabética también puede ser un problema para las mujeres embarazadas que padecen de diabetes. Para proteger su visión, toda mujer embarazada que tiene diabetes debe hacerse un examen completo de la vista con dilatación de las pupilas cuanto antes.

Los vasos sanguíneos dañados por la retinopatía diabética pueden causar una pérdida en la visión de dos maneras:

1. Se pueden desarrollar vasos sanguíneos anormales y frágiles que pueden gotear sangre en el centro del ojo, opacando la visión. Esto es la retinopatía proliferativa, y es la cuarta y la más avanzada etapa de la enfermedad.
2. Puede gotear líquido dentro del centro de la mácula, la parte del ojo que provee la visión central clara. Este líquido también hace que la mácula se inflame, nublando la visión. Esta condición se llama edema macular. Puede ocurrir en cualquier etapa de la retinopatía diabética, aunque es más probable que ocurra al progresar la enfermedad. Aproximadamente la mitad de las personas que tienen retinopatía proliferativa también padecen de edema macular.



Fig. 28 Visión de una persona que ve normal.



Fig. 29 Visión de una persona con retinopatía diabética.

La retinopatía diabética frecuentemente no ofrece ninguna señal de advertencia temprana. Es recomendable hacerse un examen completo de la vista con dilatación de las pupilas, por lo menos una vez al año. La Fig. 28 muestra la visión de una persona con la retina sana. La Fig. 29 muestra la visión de una persona con retinopatía diabética. A las manchas negras que se observan en la imagen se les llama escotomas.

Al principio, sólo se ven unas manchitas de sangre que "flotan" en su visión. Si aparecen manchas más grandes, es recomendable ir al oculista lo más pronto posible. Puede que se necesite tratamiento antes de que ocurra una hemorragia más seria. Las hemorragias suelen ocurrir más de una vez y frecuentemente cuando se está dormido.

Algunas veces las manchas desaparecen sin tratamiento. Sin embargo, la hemorragia puede ocurrir de nuevo y nublarle su vista severamente. Por esto, se tiene que ver a un oculista a la primera señal de que se esté nublando la vista, antes de que haya más sangramiento.

Si no se trata oportunamente, la retinopatía proliferativa puede causar una pérdida severa en la visión o incluso la ceguera. Además, mientras más pronto se reciba tratamiento, más probabilidad habrá de que el tratamiento sea eficaz.

2.2.2.2 Exámenes para detectar la retinopatía diabética

El edema macular y la retinopatía diabética se detectan al hacerse un examen completo de la vista que incluye:

- *Prueba de agudeza visual.* En esta prueba se usa una tabla optométrica para medir la vista a diferentes distancias.
- *Examen con dilatación de las pupilas.* Para dilatar o agrandar las pupilas, se pueden utilizar unas gotas en los ojos. Se observa a través de un lente de aumento especial para examinar la retina y el nervio óptico para ver si hay señales de daño u otros problemas de los ojos. Después del examen, la visión de cerca podrá permanecer borrosa por varias horas.
- *Tonometría.* Se utiliza un instrumento para medir la presión del ojo. Para esta prueba, se puede suministrar unas gotas para adormecer los ojos.

El oculista examinará la retina para ver si hay señales de la enfermedad, incluyendo:

- Vasos sanguíneos que gotean.
- Inflamación de la retina (edema macular).
- Depósitos pálidos y grasosos en la retina, que son señales de que los vasos sanguíneos están goteando (exudados duros).
- Tejido del nervio dañado.
- Cualquier cambio en los vasos sanguíneos.

2.2.3 La retinopatía hipertensiva

La hipertensión arterial puede aparecer a diferentes edades y afectar arterias normales o con diferentes grados de envejecimiento y esclerosis [17]. La hipertensión arterial se define como una presión diastólica igual o mayor a 90mm de Hg y una sistólica igual o mayor a 140mm de Hg. La hipertensión arterial, por el hecho de ser una enfermedad sistémica, compromete órganos como el cerebro, el corazón, el riñón y también el ojo. La retinopatía hipertensiva es la principal manifestación ocular de la hipertensión arterial, pero no la única [18].

Las manifestaciones oculares de la hipertensión arterial son producidas por el daño que esta causa en los vasos arteriales conjuntivales, retinales, coroideos y de la cabeza del nervio óptico [18]. La respuesta primaria de las arterias retinianas ante la hipertensión sistémica es el estrechamiento. El

estrechamiento arterial hipertensivo en su forma pura se observa sólo en los individuos jóvenes. En los pacientes de mayor edad, la rigidez de las arteriolas de la retina impide que se produzca el mismo grado de estrechamiento que en los jóvenes. En los caso de hipertensión constante se produce una dehiscencia² de la barrera hematorretiniana en pequeñas áreas, provocando un aumento de la permeabilidad vascular [17].

2.2.3.1 Manifestaciones

La imagen del fondo de ojo se caracteriza por la vasoconstricción, la extravasación y la arterioesclerosis (Fig. 30).

La *vasoconstricción*. Los vasos arteriales retinales poseen la capacidad de auto-regulación y no están comandados por el tono simpático. Esta auto-regulación permite que en la eventualidad de un aumento de la presión arterial, las arteriolas retinales se contraigan manteniendo constante el flujo. Por esto en pacientes con Hipertensión Arterial Crónica, uno de los hallazgos más tempranos es una disminución difusa del calibre arteriolar, perdiéndose la relación AV (arteria-vena) normal de 2:3 [18].

La hipertensión grave puede originar la obstrucción de las arteriolas precapilares y el desarrollo de manchas algodonosas (exudados suaves).

La *extravasación*. Causada por una permeabilidad vascular anormal, da lugar al desarrollo de hemorragias en llama (o flama), edema de retina y exudados duros. El edema de la cabeza del nervio óptico es el signo fundamental de la fase maligna de la hipertensión.

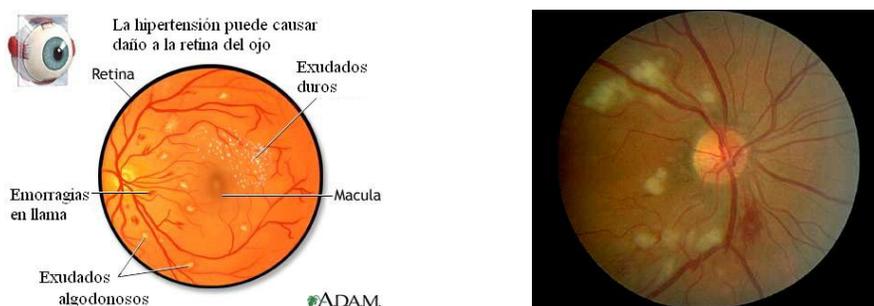


Fig. 30 Retinopatía hipertensiva.

La *arteriosclerosis*. Causa el engrosamiento de la pared vascular, la que consiste histológicamente en una hialinización de la capa íntima, hipertrofia de la capa media e hiperplasia endotelial. El signo clínico aislado más importante es la presencia de alteraciones notables en los cruces arteriovenosos [17].

Cuando observamos el fondo de ojo y vemos los vasos retinales, lo que en realidad estamos viendo es la columna de sangre en el interior del vaso. La pared arteriolar es, en condiciones normales, transparente. En la arterioloesclerosis se produce inicialmente un aumento del tejido muscular de la

² Es la apertura, por lo general espontánea, de una estructura.

capa media y un aumento del tejido elástico de la capa íntima, para luego ser reemplazada por fibras colágenas, la media, y sufrir engrosamiento hialino, la íntima (Fig. 31 y Fig. 32). Esto ocasiona, en un primer momento, que el brillo arteriolar que produce la luz incidente del oftalmoscopio en la pared del vaso, pierda su aspecto normal (delgado y en la mitad de la columna de sangre), tornándose menos brillante, más ancho y más difuso. Este es el signo más temprano de arterioloesclerosis. En una segunda etapa, al aumentar la arterioloesclerosis, disminuye la visibilidad de la columna de sangre y el brillo arteriolar se torna café-rojizo. Es lo que los clínicos antiguos llamaban vasos en "Hilo de Cobre". En una tercera etapa, la pared del vaso pierde por completo su transparencia, perdiéndose la visibilidad de la columna de sangre y adquiriendo el vaso un aspecto blanquecino. Esto se denominaba vasos en "Hilo de Plata". Aunque clínicamente estos vasos parecieran estar sin flujo, las angiofluoresceinografías han demostrado que frecuentemente existe perfusión [18].



Fig. 31 Arteriosclerosis de los vasos de la retina. La pared de los vasos arteriales está engrosada y opaca.



Fig. 32 Arteriosclerosis de los vasos de la retina. La esclerosis de los vasos retinales se presenta con engrosamiento de la pared y desaparición de la visibilidad de la columna sanguínea. Las venas aparecen dilatadas y hay un edema en el área macular.

2.2.3.2 Grados de la retinopatía hipertensiva

La retinopatía hipertensiva es una complicación frecuente de la hipertensión. Existen los diferentes grados que a continuación se mencionan (Tabla 1):

Grado I. Consiste en un estrechamiento generalizado de las arteriolas [13]. Presenta una atenuación arteriolar generalizada leve, sobre todo en las ramas de pequeño calibre, con ampliación del reflejo lumínico arteriolar y ocultamiento de las venas [17].

Grado II. Se caracteriza, además, por focos de espasmo arteriolar [13]. También por una constricción arteriolar más grave, generalizada y también local, asociada a una deflexión de las venas en los cruces arteriovenosos (signo de Salus) [17].

Grado III. Aparecen hemorragias en llama (o flama), puntiformes y maculosas, depósitos algodonosos y exudados céreos densos [13]. Se caracteriza por la observación de arteriolas en "hilo de cobre", acodamiento de las venas distales en los cruces arteriovenosos (signo de Bonnet), disminución del calibre de las venas a ambos lados de los cruces (signo de Gunn) y deflexión en ángulo recto de las venas. También se observan hemorragias en llama, manchas algodonosas y exudados duros [17].

Grado IV. Es el más grave; a las lesiones del grado III se suma el edema de la papila óptica (Fig. 33) [13].



Fig. 33 Retinopatía hipertensiva. Los hechos adicionales de hipertensión son un disco duro y exudados en forma de estrella en la mácula.

TABLA VII Clasificación de Keith-Wagener	
Estadio I	Moderado estrechamiento o esclerosis de las arterias. Relación arteriovenosa igual a $\frac{1}{2}$ (Fig. 34).
Estadio II	Marcada esclerosis de arteriolas, exageración del reflejo de la luz, cruces arteriovenosos y estrechamientos localizados o generalizados.
Estadio III	Estrechamiento y constricción focal, edema retiniano, exudados (Fig. 35) y hemorragias.
Estadio IV	A todo lo anterior se asocia edema de papila.

[19]



Fig. 34 Retinopatía hipertensiva. Las arterias rectas adelgazadas, aumento del calibre de las venas, pequeñas hemorragias intrarretinales, exudados.

Otras manifestaciones oculares asociadas a la hipertensión sistémica incluyen:

- Oclusión de rama venosa retiniana.
- Oclusión arterial retiniana.
- Infartos coroideos isquémicos (manchas de Elschnig).
- Macroaneurismas arteriales retinianos.
- Neuropatía óptica isquémica.
- Parálisis de nervios motores oculares [17].



Fig. 35 Retinopatía hipertensiva, manchas algodonosas. El calibre de las venas está aumentado en relación al de las arterias. Se visualizan varias manchas algodonosas y un discreto exudado.

La retinopatía hipertensiva se puede dividir de acuerdo a su tiempo de evolución en *aguda* y *crónica*.

La *retinopatía hipertensiva aguda* se observa principalmente en pacientes con *preeclampsia* o *eclampsia*, pero también es causada por *feocromocitoma* o *hipertensión maligna*. Se caracteriza por disminución de la agudeza visual, la que puede ser desde visión borrosa (lo más frecuente) hasta la ceguera. El aspecto más característico del fondo de ojo es una *vasoconstricción generalizada*. En casos más graves se pueden apreciar *hemorragias retinales*, *manchas algodonosas*, *estrella macular*, *manchas de Elschnig* y *edema de papila*. Con mucha menor frecuencia se aprecian *desprendimientos de retina serosos*.

La *retinopatía hipertensiva crónica*, se observa en pacientes con hipertensión de larga data y, a diferencia de aquellos que padecen la forma aguda, no presentan disminución de la agudeza visual. Los hallazgos más característicos en el fondo de ojo son: *vasoconstricción difusa*, *aumento del brillo arteriolar*, *cruces AV patológicos*, *microaneurismas* y *macroaneurismas*. En casos más graves pueden apreciarse: *manchas algodonosas*, *edema de retina*, *hemorragias retinales*, *estrella macular*, *manchas de Elschnig* y *edema de papila* (Fig. 36).

La *hipertensión arterial crónica* aumenta el riesgo de padecer *oclusión de rama de vena retinal*, *oclusión de la vena central de la retina* y *oclusión de rama de arteria retinal*. La oclusión de rama de vena retinal puede producir disminución de la agudeza visual por compromiso de la mácula por edema, por isquemia, por hemorragias retinales o por la formación de una membrana epirretinal. Además puede comprometerse la agudeza visual por hemorragia vítrea secundaria a neovascularización y por desprendimiento de retina traccional o regmatógeno. Tanto la oclusión de la vena central de la retina como la oclusión de rama de arteria retinal pueden comprometer también la agudeza visual [18].

La hipertensión sistémica no controlada también tiene un efecto adverso sobre la retinopatía diabética [17].



Fig. 36 Imágenes de fondo de ojo.

2.2.4 La retinosis pigmentaria

La retinosis pigmentaria es una enfermedad ocular de carácter degenerativo y hereditario, que produce una grave disminución de la capacidad visual y que en muchos casos conduce a la ceguera.

Aunque se nace con la enfermedad, ésta es raro que se manifieste antes de la adolescencia. La persona afectada no está consciente de su enfermedad hasta que ésta se encuentra en fases avanzadas [20].

En las últimas décadas se ha avanzado notablemente en el conocimiento de los diversos factores que intervienen en su aparición y desarrollo, aunque queda aún mucho camino por recorrer [22].

2.2.4.1 Tipos de retinosis pigmentaria

La retinosis pigmentaria o retinitis pigmentosa (RP) es un grupo de retinopatías bilaterales y progresivas, de causa hereditaria, que se caracteriza por la pérdida de los bastones y los conos, junto a una proliferación del epitelio pigmentario de la retina y la aparición de células epiteliales pigmentarias en la retina sensitiva (retinopatía pigmentaria). La ceguera nocturna es un síntoma precoz. La pigmentación retiniana se distribuye formando un dibujo reticular ramificado, hay palidez de la papila óptica y los vasos retinianos no se distinguen bien. Este proceso se hereda con carácter autosómico dominante, recesivo, o recesivo ligado al cromosoma X, o bien es transmitido por las madres (herencia mitocondrial). Una minoría de pacientes tienen además sordera (síndrome de Usher) y trastornos endocrinos (síndrome de Bardet - Biedl). Se han descrito mutaciones en los genes de varios fotorreceptores (periferina) y de otras proteínas oculares (opsina) [13].

Se produce por degeneración y apoptosis de los fotorreceptores (bastones-campo periférico) aunque en las fases finales afecta a los conos (visión central), provocando ceguera en un grupo importante de los casos [22].

2.2.4.2 Clasificación de la retinosis pigmentaria

La retinosis pigmentaria se clasifica con base en cuatro ejes:

- I. Características clínicas de la RP.
- II. Edad de comienzo de la enfermedad.
- III. Características hereditarias de la RP.
- IV. Estadio clínico de la enfermedad.

I. Clasificación según las características clínicas:

1. Retinosis pigmentaria típica.
2. Retinosis pigmentaria atípica.
3. Retinosis pigmentaria asociada.

II. Clasificación según la edad de comienzo de la enfermedad:

1. Comienzo precoz: antes de los 10 años.
2. Comienzo juvenil: entre 10 y 20 años.
3. Comienzo tardío: después de los 21 años [23].

III. La clasificación de la RP según el tipo de herencia se define en los siguientes patrones:

Según el modelo de herencia mendeliano, se presentan 4 grupos:

- *Patrón autosómico dominante* (ADRP, del inglés *Autosomal Dominant Retinitis Pigmentosa*).
- *Patrón autosómico recesivo* (ARRP, del inglés *Autosomal Recessive Retinitis Pigmentosa*).
- *Patrón ligado al cromosoma X* (XLRP, del inglés *X-chromosome Linked Retinitis Pigmentosa*).
- *Patrón de RP simple* (casos esporádicos).

IV. Clasificación evolutivo - pronóstica:

Tomamos como variable fundamental o criterio mayor el campo visual en el ojo mejor, para enmarcar al paciente en un estadio clínico y aplicar tratamiento.

Estadio I: Agudeza visual mayor que 0.6 y Campo visual de 15 grados.

Estadio II: Agudeza visual mayor que 0.3 y Campo visual entre 11 y 15 grados.

Estadio III: Agudeza visual superior a 0.05 y Campo visual entre 10 y 5 grados.

Estadio IV: Agudeza visual de 0.05 y Campo visual menor que 5 grados [23].

2.2.4.3 Manifestaciones clínicas

Los primeros síntomas de la Retinosis Pigmentaria son:

- Ceguera nocturna, o lo que es lo mismo, lenta capacidad para adaptarse a la oscuridad.
- Pérdida progresiva del campo visual hasta formar una visión en túnel.
- Deslumbramiento, como molestias ante la excesiva luminosidad, lo que hace necesario utilizar gafas de sol especiales [21].

La edad de aparición es clave y muy variada apareciendo preferentemente entre los 25-40 años, pero se dan casos de afectados con menos de 20 años y en menor frecuencia, casos en los que la enfermedad comienza a mostrar sus síntomas pasados los 50 años.

La pérdida grave de visión no afecta a todas las personas por igual incluso dentro de la misma familia, hallándose a hijos más afectados que sus padres y, por el contrario, personas de edad avanzada con una agudeza visual normal para su edad [22].

2.2.4.4 Diagnóstico

Los criterios diagnósticos de la Retinosis Pigmentaria establecidos internacionalmente se pueden apreciar en la siguiente tabla:

TABLA VIII Criterios Diagnósticos de la Retinosis Pigmentaria
<ol style="list-style-type: none"> 1. Bilateralidad. 2. Pérdida de la visión periférica. 3. Disfunciones de los bastones. <ol style="list-style-type: none"> a. Adaptación a la oscuridad: umbral final de bastones elevado y/o. b. Electroretinograma: respuesta de bastones de amplitud reducida y aumento de tiempo implícito o no detectable. 4. Pérdida progresiva de la función de los fotorreceptores.

Los criterios diagnósticos son la bilateralidad del proceso que además ocurre de forma simétrica. Es muy raro que se encuentre un cuadro absolutamente compatible con retinosis pigmentaria en un solo ojo.

El segundo criterio diagnóstico, la pérdida de la visión periférica o constricción del campo visual, refleja una alteración de los bastones, dado que la mayor densidad de estos receptores se encuentra en la media periférica retiniana.

El tercer criterio diagnóstico se refiere a la pérdida de la función de los bastones, puesta de manifiesto por un umbral elevado en el segmento de bastones del electroretinograma alterado.

El cuarto criterio hace alusión al carácter progresivo de la enfermedad que marca la diferencia con otras enfermedades similares en algunos aspectos, pero de carácter estable, como la ceguera nocturna estacionaria congénita.

2.2.4.5 Pruebas diagnósticas

Una exploración completa debe incluir:

1. Prueba de agudeza visual con refracción: algunas formas hereditarias, como la ligada al sexo, se acompañan frecuentemente de miopía. El paciente debe ir siempre bien graduado.
2. Campo visual: debe realizarse una campimetría de campo amplio que abarque 60 a 90 grados. El escotoma anular típico se forma en la periferia media del campo visual. Por regla general, se origina a partir de un grupo de pequeños escotomas situados aproximadamente entre 20° - 25° del campo. Al final sólo queda indemne una región central alrededor del punto de fijación (visión tubular).
3. Examen en la lámpara de hendidura: Debe centrarse en la búsqueda de cataratas subcapsulares posteriores, una opacidad en la parte central posterior del cristalino, muy característica de la retinosis pigmentaria. Dependiendo de las estadísticas, aparecen en un 44-57% de los pacientes, porcentaje que alcanza el 100% en los enfermos de más de 50 años. También se encuentra asociación de la retinopatía pigmentaria con el glaucoma.
4. Fondo de ojo: debe centrarse en la palidez papilar, el estrechamiento de los vasos y los depósitos de pigmento en forma de osteoblastos que suelen tener una distribución característica en la media periferia (Figs. 37 y 38). La triada clásica de la retinosis pigmentaria está formada por:
 - Pigmentación de tipo espícula ósea.
 - Atenuación arteriolar.
 - Palidez cérea del disco óptico.

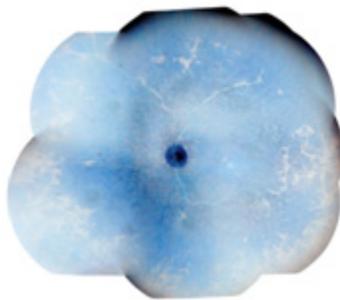


Fig. 37 Pigmentación tipo espícula ósea (imagen revertida).

Los depósitos de pigmento con aspecto de espícula ósea y la atenuación de las arteriolas retinianas que caracterizan al fondo de ojo en pacientes de retinosis pigmentaria representan estadios avanzados de la enfermedad.

Las primeras alteraciones detectadas en el fondo de ojo son estrechamientos de las arteriolas de la retina, una pigmentación pulverulenta en el interior de la misma y pérdidas de pigmento en el epitelio pigmentario.

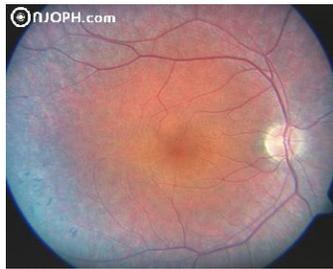


Fig. 38 Vasos arteriales estrechos y palidez cérea del disco, bilateralmente, acumulaciones de pigmento en la mediana periferia.

5. Electroretinograma. Antes de que aparezca el cuadro clínico típico, en los niños afectados de retinosis pigmentaria, se detecta un electroretinograma de carácter anómalo [21].

2.2.5 La Degeneración Macular Dependiente de la Edad (DMDE)

La degeneración macular relacionada con la edad (AMD, por su sigla del término en inglés *Age-related Macular Degeneration*) es una enfermedad degenerativa que afecta al centro de la retina conocida como mácula, en personas mayores de 60 años. Es la segunda causa de ceguera más frecuente en los ancianos, después de la causada por la retinopatía diabética [24]. La degeneración macular afecta la capacidad de ver objetos cercanos y lejanos; puede hacer que algunas actividades como enhebrar una aguja o leer sean difíciles o imposibles. La degeneración macular reduce la visión de la parte central de la retina, por lo que este trastorno de la vista destruye la visión central y la posibilidad de ver los detalles de las imágenes, pero no afecta la visión lateral o periférica del ojo. Por ejemplo, usted puede ver el contorno del reloj, pero no puede precisar qué hora es [25]. En algunas personas la degeneración macular relacionada con la edad progresa tan lento que no les afecta mucho la vista al envejecer. En otras personas la enfermedad progresa más rápido y puede causar pérdida de visión en uno o ambos ojos [26]. A continuación se muestra la diferencia entre la visión de una persona sana y otra que sufre la enfermedad (Fig. 39).



Fig. 39 Arriba se aprecia la imagen normal y abajo cómo la vería un paciente con degeneración macular. La visión periférica está relativamente conservada, pero en el centro aparece una mancha que le imposibilita ver los detalles.

La retina es la membrana más interna del ojo, la cual se observa en las imágenes de la parte posterior del ojo que se toman a través de la pupila. Pues bien, la mácula es la parte más central de la retina, el punto donde la luz se enfoca cuando se mira a un objeto. Es una pequeña zona de la retina que usamos para ver los objetos del mundo real con el fin de apreciarlos en todo su detalle (Fig. 40) [27].

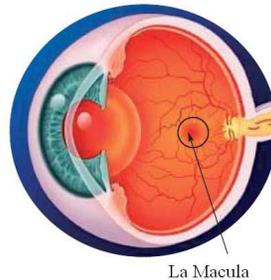


Fig. 40 Croquis de un corte de un globo ocular donde se pueden observar la retina y la mácula en la parte central de la retina (como si se observara de frente).

Los vasos sanguíneos son cada vez más escasos en la zona de la mácula, conforme nos acercamos al centro. De hecho, en el centro de la mácula existe una zona llamada zona avascular foveal (ZAF) en la que no llegan los vasos sanguíneos [28]. La retina y, por lo tanto, la mácula, descansan sobre otra capa de la parte posterior del ojo denominada coroides. Esta capa proporciona oxígeno y nutrientes a la retina y es responsable de la limpieza de los productos de desecho que ésta genera. Todos estos intercambios deben realizarse atravesando una membrana muy fina que existe entre la retina y la coroides, denominada membrana de Bruch. Por otra parte, todos estos procesos están regulados por el Epitelio Pigmentario de la Retina (EPR), capa extraordinariamente importante para el correcto funcionamiento de la retina que se encuentra localizada entre la membrana de Bruch y la propia retina.

2.2.5.1 Tipos de DMDE

Las anomalías del EPR y la membrana de Bruch en el área macular son las que causan la DMAE. Las alteraciones a ese nivel impiden la correcta nutrición de la retina, lo que conduce al deterioro de la retina de esa zona. Es lo que se conoce como forma seca o atrófica de la enfermedad. Una segunda posibilidad es que debido a la falta de nutrientes y oxígeno se estimule la aparición de vasos anormales que sangran y dejan salir líquidos de su interior, lo que finalmente acaba destruyendo una gran área de la retina que los rodea. Es lo que se conoce como forma húmeda o exudativa de la DMAE [27].

Existen dos tipos de degeneración macular relacionados con la edad (DMRE), son el "seco" (atrófico) y el "húmedo" (exudativo).

El 90% de las personas sufre la forma atrófica de la enfermedad [29]. La membrana de Bruch sufre un engrosamiento generalizado y focal. Muchas veces hay desaparición focal de la membrana coriocapilar, el epitelio pigmentario se atrofia y despigmenta (Fig. 41), y los fotorreceptores degeneran poco a poco haciendo que la visión central se nuble gradualmente en el ojo afectado [13].



Fig. 41 Los cambios de pigmentación es otra característica de la degeneración macular. En la imagen vemos pequeñas zonas puntiformes más oscuras y otras más claras.

El síntoma más común de la degeneración macular seca es tener la vista un poco borrosa. Se pueden tener problemas reconociendo los rostros de las personas. Tal vez necesite más luz para leer y para realizar otras tareas. La degeneración macular seca generalmente afecta a ambos ojos, pero se puede perder la vista en un ojo mientras que el otro ojo parece no estar afectado.

Una de las primeras señales más comunes de la degeneración macular seca son las drusas. Las drusas son depósitos amarillos debajo de la retina (Fig. 42). Frecuentemente se encuentran en las personas mayores de 60 años.

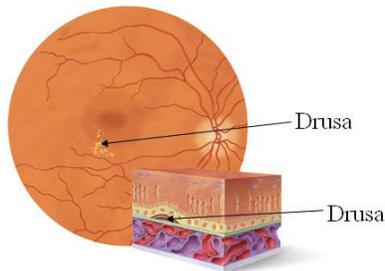


Fig. 42 Corte donde se puede observar la drusa debajo de la capa retiniana.

La degeneración macular seca tiene tres etapas, las cuales pueden ocurrir en uno o en ambos ojos:

1. La degeneración macular temprana. Las personas con degeneración macular temprana tienen varias drusas pequeñas o algunas drusas medianas. En esta etapa, no hay síntomas ni pérdida de la visión.
2. La degeneración macular intermedia. Las personas con degeneración macular intermedia tienen muchas drusas de tamaño mediano, o una o más drusas grandes (Fig. 43). Algunas personas ven un punto borroso en el centro de su visión. Es posible que necesiten más luz para leer y para realizar otras tareas.
3. La degeneración macular seca avanzada. Además de las drusas, las personas con degeneración macular seca avanzada tienen un deterioro de las células sensibles a la luz y del tejido de apoyo en el área central de la retina (Fig. 44).

Las drusas solas generalmente no causan pérdida de la visión. De hecho, los científicos no están seguros sobre la conexión entre las drusas y la degeneración macular. Lo que sí saben es que un aumento en el tamaño o en el número de drusas aumenta el riesgo de que una persona pueda

desarrollar la degeneración macular seca avanzada o la forma húmeda. Estos cambios pueden causar una pérdida seria de visión [30].

La forma "húmeda" de degeneración macular, aunque sólo el 10 por ciento de las personas con DMDE la padece, este tipo lleva a la ceguera en el 90 por ciento de los casos [29]. Generalmente se produce cuando se forman vasos sanguíneos anormales por debajo de la retina, en la parte posterior del ojo [25].



Fig. 43 Imagen donde la mácula está plagada de manchas amarillentas, más o menos redondeadas de distinto tamaño. Son las drusas. Es una de las manifestaciones que indican que el epitelio pigmentario ya no funciona bien.

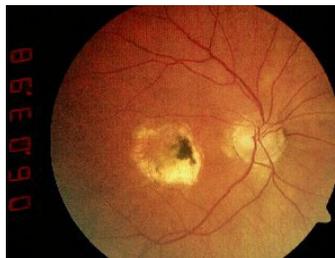


Fig. 44 La estructura normal de la mácula se pierde y evoluciona hacia la atrofia, es decir, la ausencia de tejido. Queda con una zona donde ya no hay epitelio pigmentario ni retina que funcione.

En la forma exudativa, los neovasos producen exudados y hemorragias subretinianas (Fig. 45). El resultado final es una cicatriz fibrosa de la región macular acompañada de degeneración de la retina nerviosa y de pérdida permanente de la visión central [13]. La pérdida de visión puede ser rápida y severa

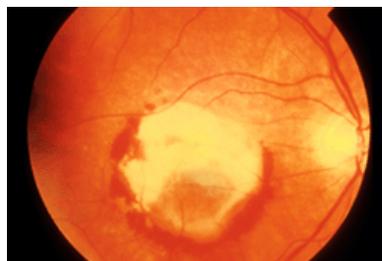


Fig. 45 Lesión de color blanco intenso en el centro de la retina. Es una cicatriz más blanca que la atrofia que hemos visto en la forma "seca" de la enfermedad. Alrededor de la cicatriz (por debajo y a los lados) vemos manchas rojas. Es sangre debida al sangrado de los vasos anómalos.

Uno de los primeros signos de la degeneración macular húmeda es que las líneas rectas parecen onduladas.

Tanto la forma húmeda como la forma seca avanzada se consideran como degeneración macular avanzada. La pérdida en la visión puede ocurrir en cualquiera de las dos formas. En la mayoría de los casos, solamente la degeneración macular avanzada puede causar pérdida en la visión [30].

2.2.5.2 Síntomas de la DMDE

La degeneración macular puede causar síntomas diferentes en cada persona [31]. Ninguno de los dos tipos de degeneración macular (seca y húmeda) causa dolor [26]. Algunas veces solo un ojo pierde la visión central mientras que el otro ve bien por muchos años. Si ambos ojos se afectan, puede hacerse muy difícil leer o trabajar. Esta afección puede reducir la visión de los colores y causar síntomas como los siguientes [32]:

Pérdida de visión. Hay dificultad de ver a distancia y se pierde poco a poco la habilidad de distinguir los colores.

La señal más común del tipo seco es la visión borrosa. A medida que se deterioran las células de la mácula, se va perdiendo el detalle de lo que está adelante al mirar, como las caras de la gente o las letras de un libro (Fig. 46).

Low vision optical aids help improve vision for people with macular degeneration. Many different types of magnifying devices are available. Spectacles, hand or stand magnifiers, telescopes, and closed circuit television for viewing objects are some of the available resources. Aids are either prescribed by your ophthalmologist or by referral to a low vision specialist or center. Special lamps with brighter illumination are often beneficial. Books, newspapers, and other items available in large print offer further help.

Fig. 46 Las palabras de una página se ven borrosas.

El síntoma más común del tipo húmedo de la enfermedad es que las líneas rectas se ven onduladas. Esto se debe a que el líquido que pierden los vasos sanguíneos se acumula bajo la mácula y la eleva, distorsionando la vista (Fig. 47) [26].



Fig. 47 En el centro de la imagen aparece un área oscura y vacía.

Alteraciones de la vascularización con mayor claridad. Normalmente, la mácula lútea está protegida por un tejido tenue que la separa de los vasos sanguíneos muy delgados que irrigan el fondo del ojo.

Algunas veces, estos vasos se rompen o gotean y causan formación de tejido fibroso [31]. Este proceso, a su vez, suele dar lugar a neoformaciones anormales de vasos sanguíneos en ese tejido. Estos nuevos vasos son muy frágiles, se rompen fácilmente, y pueden gotear. La sangre y el goteo de líquido destruyen la mácula lútea y causan más formación de tejido fibroso [32].

2.2.5.3 Factores de riesgo de la DMDE

El factor de riesgo más importante es la edad. Aunque la degeneración macular relacionada con la edad puede presentarse en personas de mediana edad, los estudios indican que las personas mayores de 60 años corren mayor riesgo. Por ejemplo, un estudio halló que el riesgo para las personas de mediana edad es de alrededor del 2% mientras que para las personas mayores de 75 años el riesgo aumenta a casi el 30%.

Otros factores de riesgo de la degeneración macular relacionada con la edad son:

1. **Sexo.** Las mujeres corren mayor riesgo que los hombres de tenerla.
2. **Raza.** Las personas de raza blanca tienen mayores probabilidades de perder la vista a causa de esta enfermedad que las de raza negra.
3. **Fumar.** Puede aumentar el riesgo.
4. **Antecedentes familiares.** Las personas con miembros de la familia de parentesco directo que tienen degeneración macular relacionada con la edad corren mayor riesgo de desarrollar la enfermedad [26].
5. **Personas con hipertensión** [33].
6. **Obesidad.** Las investigaciones sugieren que hay una conexión entre la obesidad y el progreso de la etapa inicial e intermedia de la degeneración macular a la etapa avanzada [30].
7. **Dos biomarcadores de patologías cardiovasculares.** La proteína C reactiva y la homocisteína, han sido identificados como factores de riesgo de la degeneración macular asociada con la edad. En pacientes con DMAE los niveles de proteína C reactiva y de homocisteína son elevados.
8. **Tasas de leucocitos.** Un aumento de las tasas de leucocitos identifica a las personas que tienen un gran riesgo de desarrollar una degeneración macular asociada a la edad temprana, según ha puesto de manifiesto un estudio de un equipo de la *National University of Singapore* (Singapur), publicado por *American Journal of Epidemiology* [27].
9. **Los ojos de color claro** [34].

2.2.5.4 Exámenes para detectar la DMDE

La degeneración macular relacionada con la edad se detecta haciéndose un examen completo de los ojos, que incluye:

1. **Prueba de agudeza visual.** En esta prueba se usa una tabla optométrica para medir la vista a diferentes distancias.
2. **Examen con dilatación de las pupilas.** El oculista pone unas gotas en los ojos, y mira a través de un lente de aumento especial para examinar la retina y la cabeza del nervio óptico para ver si hay señales de degeneración macular u otros problemas.
3. **Tonometría.** Se utiliza un instrumento para medir la presión dentro del ojo. Para esta prueba, el oculista puede ponerle unas gotas para adormecer sus ojos [30].
4. **Prueba de visión de los colores.** Demuestra si el paciente puede distinguir diferentes colores [32].
5. **Tomografía de coherencia óptica (OCT, por sus siglas en inglés).** Consiste en un examen que crea una fotografía en colores de la mácula o la retina [35].

Durante el examen de los ojos, el oculista también puede pedir que se mire a una rejilla de Amsler. Se pide que se cubra un ojo y que se fije la vista en el punto negro situado en el centro de la rejilla (Fig. 48). Mientras se observa el punto, es posible notar que las líneas rectas parecen onduladas (Fig. 49). De igual manera, puede parecer que faltan algunas de las líneas. Estas pueden ser señales de la degeneración macular relacionada con la edad.

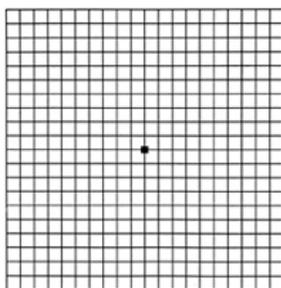


Fig. 48 Así es como se ve una rejilla de Amsler normalmente.

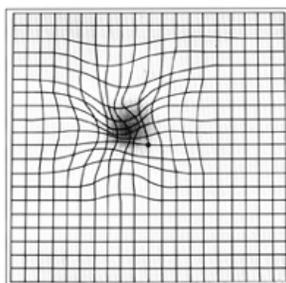


Fig. 49 Forma en que una persona con degeneración macular relacionada con la edad puede ver la rejilla de Amsler.

CAPÍTULO 3

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe la metodología, así como el procedimiento y análisis que se llevó a cabo para desarrollar cada uno de los módulos del subsistema, además de la interfaz gráfica desarrollada para facilitar el manejo del subsistema.

Cada módulo abarca una de las cinco enfermedades de las que se les pretende dar un prediagnóstico, en dependencia del peso global que se calcule a partir del peso individual dado a cada uno de los factores de riesgo seleccionados por enfermedad, los cuales provienen de las fuentes siguientes:

1. Resultado del análisis de dos imágenes oftalmoscópicas de la retina de cada ojo, una de la papila óptica y otra de fondo de ojo.
2. La información proporcionada por el paciente (edad, sexo, padecimientos actuales, si fuma o no, antecedentes familiares, etc.) en la entrevista que conforma la historia clínica y la anamnesis.
3. Algunas mediciones que se le hacen al paciente, tales como de la presión intraocular y la tensión sanguínea.

3.1 Sistema difuso

Para preparar el prediagnóstico de cada paciente se hará uso de un sistema difuso que, sobre la base de un vector de entrada conformado por los factores de riesgo fundamentales, dará como resultado el porcentaje (o probabilidad) de cuán enfermo está el paciente con alguna (o ninguna) de las enfermedades que se analiza. Este resultado es el que se interpretará para dar el prediagnóstico en alguno de los tres niveles de salida del subsistema ya mencionados dentro de este documento.

La estructura interna del sistema difuso se muestra en la figura 50. Un primer elemento llamado fusificador realiza la conversión de valores discretos a términos difusos (véase epígrafe 2.1.11). Su salida es utilizada por el dispositivo de inferencia difusa para aplicarla a cada una de las reglas de la base de reglas, siguiendo el método de inferencia seleccionado (véase epígrafe 2.1.10). La salida de

este bloque puede consistir en M conjuntos difusos B^l , con $l = 1, 2, \dots, M$, según la ecuación (27), o bien un único conjunto difuso B' , que es la unión de los M conjuntos difusos según (36), o bien M escalares y^l , con $l = 1, 2, \dots, M$, si las reglas son de tipo Sugeno (ecuación 26). Finalmente, el defusificador transformará estos conjuntos difusos en un valor no difuso $y \in V$ (véase epígrafe 2.1.12).

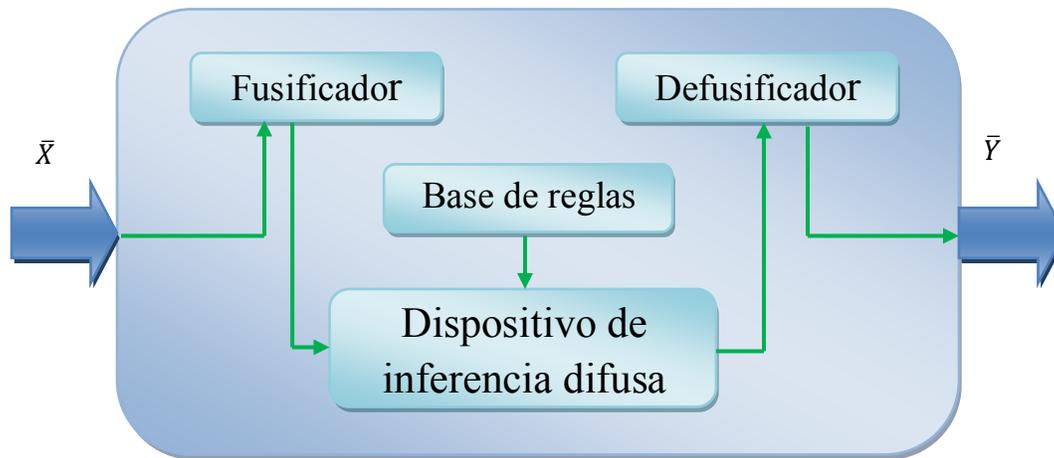


Fig. 50 Estructura interna de un sistema difuso.

Con estos principios, analizaremos como un módulo la propensión, basada en los factores de riesgo fundamentales para este trabajo, a cada una de las enfermedades que se estudia de provenientes de las fuentes mencionadas en el epígrafe anterior.

3.2 Módulo glaucoma

Se sabe que la parte esencial del subsistema es el análisis de los factores de riesgo, por lo que se realizó la investigación apropiada de los mismos expuesta en el epígrafe 2.2.1 de este documento. En un principio se encontraron 29 factores de riesgo para esta enfermedad, los que denominaremos variables, los cuales fueron expuestos al especialista para, definir cuáles de ellos deberían considerarse, especificar sus rangos normales y finalmente su grado de importancia relativa. El resultado de la revisión se muestra en la Tabla IX:

TABLA IX Variables a considerar para el glaucoma con sus rangos o valores (normales) y grado de importancia			
Nº	Nombre	Valor o rango normal	Importancia (de 0 a 100)
1	Operación intraocular	No presenta	100
2	Presión intraocular	(10-20/20-30)mm Hg	100
3	Pupila fija en mediana midriasis	No presenta	100
4	Tamaño de la excavación o copa	$\leq (\text{Diámetro papila}) \cdot 4$	100
5	Desplazamiento de vasos	$\leq ((\text{Diámetro papila}) \cdot 4) / 2$	80
6	Puntos retinianos brillantes	Null	80
7	Hemorragia del disco óptico	No presenta	75
8	Atrofia peripapilar	No presenta	70

9	Enrojecimiento de ojos	No presenta	60
10	Fuma	No	50
11	Halos coloreados	No presenta	30
12	Frecuencia de síntomas	0	30
13	Familia con glaucoma	Sin antecedentes	25
14	Hipermetropía	No presenta	20
15	Miopía	No presenta	20
16	Tipo de visión	Normal	15
17	Edad	<40	15

Hasta el momento se estaban considerando algunas variables cuya obtención presentaba un cierto grado de complicación, contaban con un bajo grado de importancia y además que estaban muy ligadas a otras complicaciones que no tienen que ver con la retina (hipermetropía y miopía), por lo que se decidió omitirlas. Algunas otras que tienen que ver con el análisis de las imágenes capturadas (atrofia peripapilar y puntos retinianos brillantes como la gliosis) se decidió no considerarlas debido a que no se ha encontrado la forma de determinar sus rangos o valores. Finalmente, las variables como halos coloreados y pupila fija en mediana midriasis (ambas obtenidas por anamnesis) también serán omitidas, porque es un poco complicado para los pacientes determinar durante el cuestionario si presentan o no estos síntomas.

Las variables que finalmente se tomaran en cuenta han de ser fusificadas, por lo que el siguiente paso es determinar sus particiones así como las funciones de membresía para cada una de ellas. Principalmente se utilizan dos tipos de funciones de membresía: la tipo *Singleton* y la tipo trapezoidal. Para fines prácticos las variables que son bivalentes en esta enfermedad tendrán una partición como la de la figura 51, que utiliza la función de membresía tipo *Singleton*.

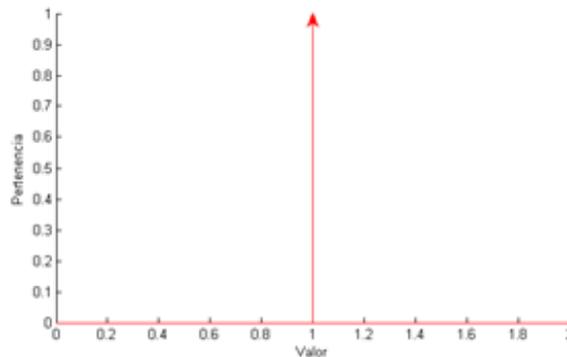


Fig. 51 Partición para las variables bivalentes del glaucoma con función de tipo Singleton.

A continuación se listan las variables que finalmente se consideraron para el glaucoma, así como una breve descripción, su rango y la forma en que se han fusificado.

3.2.1 Operación intraocular

Esta variable es *bivalente*, se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a que si el paciente ha tenido por alguna razón una operación intraocular previa. Tiene un alto grado de importancia (con el valor 100 asignado por la oftalmóloga), debido a que es muy común que como consecuencia de tales operaciones se incremente la presión intraocular acabando en un daño glaucomatoso. La forma en que puede ser fusificada esta variable es mediante la función de membresía tipo *Singleton*, teniendo solamente dos valores: 0 y 1; al tomar el valor uno tendrá una membresía de 1. En términos difusos quedaría como se muestra a continuación (figura 51):

Variable lingüística: Operación intraocular que abreviaremos como OIO.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: En este caso es sólo uno el cual denominamos como aplica en vez de verdadero, esto para saber que si contribuye a la enfermedad; el conjunto es el siguiente: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.2.2 Presión intraocular

Variable que puede ser fusificada, pudiendo tomar tanto valores *numéricos* como *cadena*s de texto. El valor numérico es obtenido a través de un tonómetro. Por lo general, no hay casos de glaucoma en los que se maneje una presión intraocular baja; sin embargo, se considerará como *baja* el rango de 0 a 10mm de Hg., ya que el rango *normal* es entre 7mm y 21mm de Hg; se considera *ligeramente elevada* entre 18 y 30mm de Hg sin ningún daño visible; se considera *elevada* cuando la presión aumenta hasta el rango que media entre 27 y 48mm de Hg, en el que generalmente se presenta el glaucoma primario de ángulo abierto; finalmente se define como una presión intraocular *muy elevada* cuando alcanza valores entre 45 y 60mm de Hg, que nos indica la posibilidad de padecer un glaucoma primario de ángulo cerrado.

De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Presión intraocular que abreviaremos como PIO.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {baja, normal, ligeramente elevada, elevada, muy elevada}, que de manera abreviada queda como {b, n, le, e, me}.

El universo de discurso: [0, 60]mm Hg.

Funciones de membresía: $\{\mu_b(t), \mu_n(t), \mu_{le}(t), \mu_e(t), \mu_{me}(t)\}$

Esta variable tiene un grado de importancia muy alto (100), según lo señalado por la oftalmóloga.

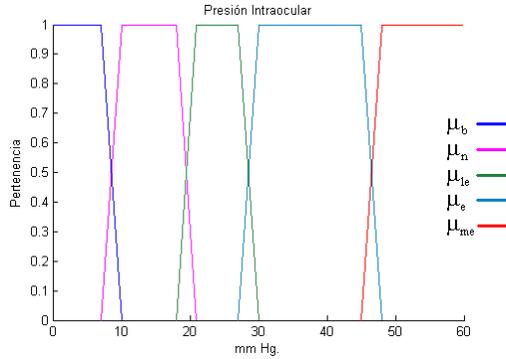


Fig. 52 Particiones para la variable PIO con funciones de tipo trapezoidal.

3.2.3 Tamaño de la excavación o copa

Se refiere al cambio de tamaño de la copa, provocado por la pérdida de las células ganglionales de la retina con excavación del disco óptico y subsiguientes defectos en el campo visual. Esta variable se obtendrá del análisis de la imagen oftalmoscópica que se capture de la papila óptica de cada ojo. Esta variable puede ser fusificable, por lo que puede tomar valores *numéricos* o *cadena*s. Estadísticamente se sabe que si el tamaño de la excavación o copa dentro de la papila sobrepasa los 4 décimos (0.4) del diámetro D_p de la misma (que es de 1500 micras ó 1.5mm aproximadamente), entonces la papila óptica es glaucomatosa. Como consecuencia de esto tendremos que si el diámetro de la excavación va de $(D_p \cdot 0.2)$ micras a $(D_p \cdot 0.35)$ micras se considerará como *normal*; de las $(D_p \cdot 0.3)$ micras a las $(D_p \cdot 0.5)$ micras ya se tomará como una excavación *ligeramente grande* y por último se considerará *grande* toda aquella excavación que sea igual a o mayor que $(D_p \cdot 0.45)$ micras. La importancia de esta variable es muy alta (100). Aplicando la lógica difusa tenemos que:

Variable lingüística: Tamaño de la excavación que abreviaremos como TamExca.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {normal, ligeramente grande, grande}; que de manera abreviada queda como {n, lg, g}.

El universo de discurso: $[(D_p \cdot 0.2), D_p]$ micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_n(t), \mu_{lg}(t), \mu_g(t)\}$

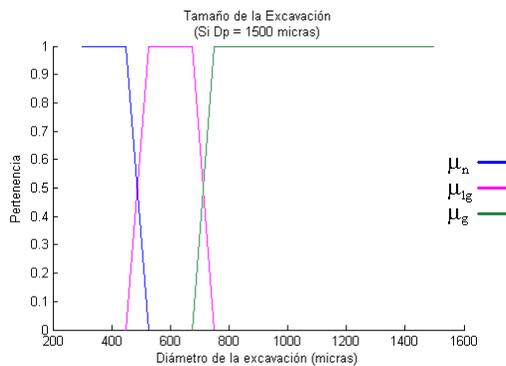


Fig. 53 Particiones para la variable TamExca con funciones de tipo trapezoidal.

3.2.4 Desplazamiento del racimo vascular

El desplazamiento de los vasos de la cabeza del nervio óptico es producto del tamaño que toma la excavación y que finalmente da lugar al glaucoma; éste es siempre hacia el lado nasal. Esta variable al igual que la anterior, se obtendrá del análisis de la imagen oftalmoscópica de la papila óptica y se representará en micras. Esta variable puede ser fusificable por lo que puede tomar valores *numéricos* (micras) o *cadena*s. Realizando un análisis sobre las imágenes oftalmoscópicas, se encontró que el desplazamiento es la mitad del diámetro de la excavación, a partir del momento que empieza a producirse el daño glaucomatoso. Se presuponen tres niveles de desplazamiento: el primero que va de $((Dp*0.2)/2)$ a $((Dp*0.35)/2)$ micras, el cual se considerará como *normal*; de $((Dp*0.3)/2)$ a $((Dp*0.5)/2)$ micras, el que ya se tomará que existe *poco desplazamiento* y por último se considerará *gran desplazamiento*, si sobrepasa las $((Dp*0.45)/2)$ micras; Dp es el diámetro de la papila. Al pasar la variable a términos de lógica difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Desplazamiento de vasos que abreviaremos como *DespVas*.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {normal, poco desplazamiento, gran desplazamiento}, que de manera abreviada queda como {n, pd, gd}.

El universo de discurso: $[(Dp*0.2)/2, (Dp/2)]$ micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_n(t), \mu_{pd}(t), \mu_{gd}(t)\}$

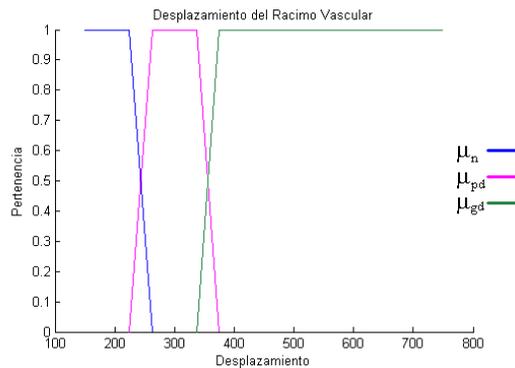


Fig. 54 Particiones para la variable *DespVas* con funciones de tipo trapezoidal.

Cabe mencionar que esta variable tiene un grado de importancia menor (80) respecto de las anteriores, según lo señalado por la oftalmóloga.

3.2.5 Hemorragia del disco óptico

Se refiere a que los pacientes de glaucoma desarrollan más frecuentemente hemorragia del disco óptico. A esta variable la consideraremos *bivalente* (Verdadero/Falso-V/F), por lo que al igual que todas las que son bivalentes, tomará el valor de membresía 1 cuando sea Verdadera y membresía 0 en cualquier otro caso (figura 51). Se obtendrá por anamnesis. Indica si el disco óptico presenta o no una hemorragia. Es catalogada de importancia media para la determinación del glaucoma, con un

valor de importancia de 75. De forma difusa podemos especificar a la variable de la siguiente manera:

Variable lingüística: Hemorragia del disco óptico que abreviaremos como HemoDisOpt.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.2.6 Enrojecimiento de los ojos

Esta variable es *bivalente*, se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a que si hay enrojecimiento de los ojos. Tiene un grado medio de importancia (valor 60 asignado por la oftalmóloga), debido a que es probable que al ir presentando el paciente un cuadro de glaucoma tenga un constante enrojecimiento del ojo afectado. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 51). En términos difusos esta variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Enrojecimiento de ojos que abreviaremos como EO.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.2.7 Fumar

Variable *bivalente* (V/F) que puede ser fusificada (figura 51); es obtenida por anamnesis e indica si la persona es fumadora. Es catalogada con importancia media, ya que aunque no es determinante para que una persona tenga glaucoma, sí es un factor de riesgo que influye en que se dé la enfermedad. Valor de importancia: 50.

Variable lingüística: Fuma.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.2.8 Frecuencia de los síntomas

La necesidad de esta variable radica en que existe la posibilidad de que el paciente desarrolle un tipo de glaucoma llamado *glaucoma intermitente de ángulo cerrado*, que se origina si el ángulo de la cámara no está completamente bloqueado (es decir, no está cerrado en todo su recorrido). Consecuentemente, los síntomas son menos severos, pero van y vienen. Esta variable se obtendrá de la anamnesis y puede ser fusificada por lo que puede tomar valores *numéricos* o *cadena*s. Se manejará la frecuencia por mes; es decir, cuántas veces se presentan los síntomas en un mes. Se considerará como *poco frecuente* el rango de 1 a 8 veces (días) por mes; se considera *frecuente* entre los 5 y 14 días cada mes, y finalmente se define como una frecuencia *muy frecuente* cuando se presentan los síntomas en más de 11 días. Definiendo la variable en términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Frecuencia de síntomas que abreviaremos como FS.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {poco frecuente, frecuente, muy frecuente}; que de manera abreviada queda como {pf, f, mf}.

El universo de discurso: [1, 30] días.

Funciones de membresía: $\{\mu_{pf}(t), \mu_f(t), \mu_{mf}(t)\}$

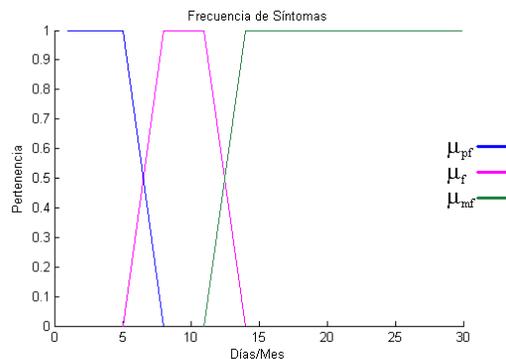


Fig. 55 Particiones para la variable FS con funciones de tipo trapezoidal.

El grado de importancia de esta variable es menor respecto de las anteriores (30), según lo señalado por la oftalmóloga.

3.2.9 Familia con glaucoma

La genética juega un cierto rol en el desarrollo del glaucoma, porque se sabe que los parientes de personas con glaucoma tienen una mayor probabilidad de desarrollarlo; en consecuencia, es prudente considerar dentro de sus familiares más cercanos si existe algún caso con glaucoma. A esta variable que se obtiene por anamnesis la consideraremos *bivalente* (V/F), por lo que usará la función *Singleton* (figura 51). Es catalogada de importancia baja para la determinación del glaucoma, con un valor de importancia de 25. Al fusificar nuestra variable tenemos que:

Variable lingüística: Familia con glaucoma que abreviaremos como FaGla.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.2.10 Tipo de Visión

Se refiere a que los pacientes de glaucoma tienen una visión en forma de túnel, es decir, pierden la visión periférica. A esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F) con una partición como se muestra en la figura 51, es obtenida por anamnesis e indica si el paciente tiene o no visión de túnel. Es catalogada de baja importancia con un valor de 15. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Visión en forma de túnel que abreviaremos como VisTun.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.2.11 Edad

La edad juega un papel importante en el glaucoma. Aunque los niños e incluso los recién nacidos pueden padecer de glaucoma, esto es muy raro, por lo que no se considerarán para este trabajo, además de que el subsistema de análisis al que se asocia este trabajo se ha concebido para adultos. La mayoría de los pacientes que tienen una PIO elevada han pasado la edad de 40 años. Esta variable se obtendrá de la anamnesis y puede ser fusificable, por lo que puede tomar valores *numéricos* (la edad) o *cadena*s. Se manejará la edad con los siguientes términos: para una persona que tiene entre 18 y 45 años se le considerará como *adulto joven*; para aquellos que su edad caiga en el rango de 35 a 75 hablaremos de un *adulto maduro*; y finalmente el paciente se considerará un *anciano* cuando su edad sobrepase los 65 años. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Edad.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {adulto joven, adulto maduro, anciano}; que de manera abreviada queda como {aj, am, a}.

El universo de discurso: [18, 120] años.

Funciones de membresía: $\{\mu_{aj}(t), \mu_{am}(t), \mu_a(t)\}$

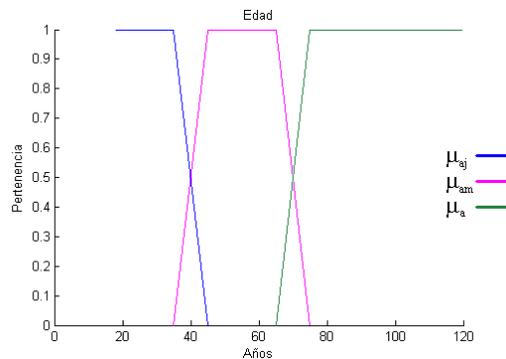


Fig. 56 Particiones para la variable Edad con funciones de tipo trapezoidal.

Esta variable tiene un grado menor de importancia (15), según lo señalado por la oftalmóloga.

En un futuro, cuando el subsistema sea integrado al proyecto final, se considerará como datos a preguntar a los sujetos (pacientes), las siguientes variables que saldrán de las preguntas al confeccionar la historia clínica:

- Operación intraocular.
- Presión intraocular.
- Hemorragia del disco óptico.
- Enrojecimiento de los ojos.
- Fumar.
- Frecuencia de los síntomas.
- Familia con glaucoma.
- Dolor ocular.
- Tipo de visión (de túnel).
- Edad.

Además, las variables que se enlistan a continuación provienen del análisis de las imágenes oftalmoscópicas de la papila óptica:

- Tamaño de la excavación o copa.
- Desplazamiento del racimo vascular.

Una vez que se ha definido cada una de las variables en términos de la lógica difusa, el paso a seguir será describir la metodología que se lleva a cabo con las mismas para que el subsistema pueda brindar el prediagnóstico correcto de glaucoma. Esto se explica en el siguiente epígrafe.

Es oportuno exponer en este momento que la metodología para el análisis difuso de las variables asociadas a cada una de las enfermedades, es similar en todas ellas.

3.2.12 Metodología

El paso a seguir después de haber definido las variables (asociadas en este caso al glaucoma) consiste en pasar las mismas a través de un sistema difuso (véase epígrafe 3.1). El sistema difuso dará como resultado un escalar de cero a cien, el cual representará cuán enfermo está el paciente. La

entrada al sistema difuso será el vector que se cree con los valores que reciben las variables antes mencionadas, a través de la interfaz. El primer punto en el diseño del sistema consiste en definir las particiones correspondientes a las variables de salida; en nuestro caso es sólo una: el Porcentaje de la Enfermedad. La partición será de tres elementos, con funciones de tipo trapezoidal (figura 63).

Variable lingüística: Porcentaje de enfermedad abreviada como PorcenEnfer.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {sano, una vez cada seis meses, urgentemente}; que de manera abreviada queda como {s, uv, u}.

El universo de discurso: [0, 100].

Funciones de membresía: $\{\mu_s(t), \mu_{uv}(t), \mu_u(t)\}$

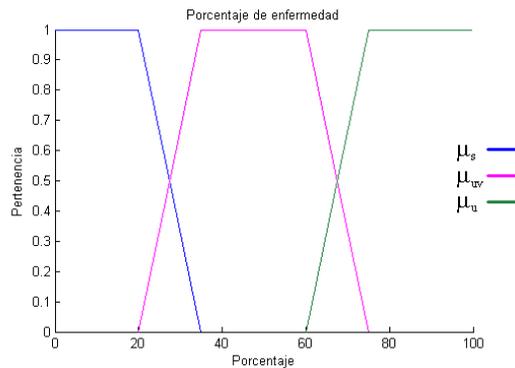


Fig. 57 Particiones para la variable de salida PorcenEnfer con funciones de tipo trapezoidal.

Lo que prosigue es seleccionar el tipo de reglas a utilizar en el sistema; en principio podemos elegir entre las de tipo Mamdani o las de tipo Sugeno. Las reglas de tipo Mamdani (ecuación 25) permiten expresar el conocimiento previo disponible sobre el sistema. Por otra parte, las reglas de tipo Sugeno (ecuación 26) simplifican los cálculos de la salida, pero en general no resultan tan adecuadas para expresar el conocimiento de los expertos. En este problema disponemos del conocimiento de nuestra experta (la oftalmóloga), por lo que elegiremos el uso de las reglas de tipo Mamdani.

A continuación se ha de definir la base de reglas que asociará un valor de salida a cada una de las posibles combinaciones de las entradas. Como se ha descrito en el epígrafe 2.1.9 (Reglas difusas), es posible describir esta base de reglas con el uso de una(s) memoria(s) asociativa(s) difusa(s) o FAM (*Fuzzy Associative Memory*), como la de la Tabla X. Utilizamos las abreviaturas ya conocidas más una nueva $z = no\ aplica$.

Las reglas pueden presentarse también en el formato de la ecuación (25). Por ejemplo, las dos siguientes reglas pueden extraerse de la FAM (Tabla X):

R1: Si PIO es N y TamExca es N Entonces PorcenEnfer es s.

R2: Si PIO es LE y TamExca es LG Entonces PorcenEnfer es u.

La regla *R1* expresa que si el paciente tiene una presión intraocular normal y tiene una excavación de tamaño normal, entonces el paciente se puede considerar como sano (puesto que no hay valor de variable que indique lo contrario). La regla *R2*, por su parte, indica que si el paciente ha tenido una



presión intraocular ligeramente elevada y además el paciente tiene una excavación ligeramente grande, entonces el paciente tiene que ir al oftalmólogo urgentemente porque existe la posibilidad de que haya desarrollado glaucoma.

TABLA X FAM con las variables PIO y TamExca para la determinación del prediagnóstico de glaucoma.

		PIO				
		B	N	LE	E	ME
TamExca	N	s	s	uv	u	u
	LG	uv	uv	u	u	u
	G	u	u	u	u	u

Este proceso se realiza con cada una de las combinaciones que pueden hacerse con las variables, sin repetir alguna combinación; tomando en cuenta que $ab = ba$. El resto de las combinaciones pueden consultarse en el apéndice A.

Desarrollada la base de reglas difusas, se han de seleccionar después los métodos de fusificación, de inferencia y de defusificación. Nuestro subsistema no utiliza funciones de aprendizaje, por lo que la opción más adecuada será la del sistema descrito en la ecuación (44), es decir, un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros; ecuación (39), implicación difusa por la regla del mínimo; ecuaciones (28) y (34), y fusificador tipo *Singleton*.

Para entender cómo operaría el sistema difuso diseñado, es decir, dadas unas determinadas entradas cómo se obtiene la salida, realizaremos los cálculos detallados para un caso simplificado, considerando únicamente las dos reglas R1 y R2 anteriores, y dadas las entradas $\mathbf{x} = (\text{PIO}, \text{TamExca}) = (20, 510)$. La premisa de cada regla se calcula siguiendo la ecuación (34); es decir, como el mínimo de las funciones de membresía para cada término.

$$\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(\mathbf{x}) = \min\{\mu_{F_1^l}(\mathbf{x}), \dots, \mu_{F_n^l}(\mathbf{x})\}$$

Entonces $\mu_{A^l}(\mathbf{x}) \equiv \mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(\mathbf{x})$ con $\mathbf{x} = (20, 510)$ valdrá para cada regla:

$$R1: \alpha_1 = \mu_{A^1}(\mathbf{x}) = \min\{0.333, 0.186\} = 0.186$$

$$R2: \alpha_2 = \mu_{A^2}(\mathbf{x}) = \min\{0.666, 0.813\} = 0.666$$

Por otra parte, según (28) la implicación difusa por la regla del mínimo es:

$$\mu_{A \rightarrow B}(\mathbf{x}, y) \equiv \mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l \rightarrow G^l}(\mathbf{x}, y) = \min\{\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(\mathbf{x}), \mu_{G^l}(y)\}$$

Y el conjunto de salida correspondiente a cada regla l , $\mu_{B^l}(y)$, viene dado a su vez por la ecuación (27)

$$\mu_{B^l}(y) = \sup_{x \in U} [\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l \rightarrow G^l}(\mathbf{x}, y) * \mu_{A^l}(\mathbf{x})]$$

Siendo A' la entrada en U del dispositivo de inferencia difusa (véase en 2.1.10). Combinando todo ello, se tiene:

$$\mu_{B^l}(y) = \sup_{x \in U} \left[\min \left[\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(x), \mu_{G^l}(y), \mu_{A'}(x) \right] \right]$$

Si utilizamos un fusificador *Singleton*, se cumple que $\mu_{A'}(x') = 1$ sólo para $x' = x$, siendo $\mu_{A'}(x') = 0$ para todos los demás valores de U . Por ello, la ecuación anterior queda reducida a:

$$\mu_{B^l}(y) = \sup_{x \in U} \left[\min \left[\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l}(x'), \mu_{G^l}(y) \right] \right]$$

Se puede ver que la salida global del dispositivo de inferencia difusa, el conjunto difuso $\mu_{B'}(y)$ obtenido al aplicar la ecuación (36), es la unión de los conjuntos difusos de cada regla.

$$\mu_{B'}(y) = \mu_{B^1}(y) \dot{+} \dots \dot{+} \mu_{B^M}(y)$$

Por último, queda por calcular el valor final de la salida siguiendo el procedimiento de la media de centros (44) (recordemos que se denota por y^{-l} al centro de gravedad del conjunto difuso de salida G^l).

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} \left[\min \left(\mu_{F_1^l}(x_1), \dots, \mu_{F_n^l}(x_n) \right) \right]}{\sum_{l=1}^M \left[\min \left(\mu_{F_1^l}(x_1), \dots, \mu_{F_n^l}(x_n) \right) \right]} = \frac{(0.186 * 17.5) + (0.666 * 80)}{0.186 + 0.666} = 66.32$$

Ello viene a indicar que la regla *R1*, cuya salida es *s* (de centro de gravedad 17.5), se cumple en una cantidad de 0.186, mientras que la regla *R2*, cuya salida es *u* (de centro de gravedad 80), se cumple en 0.666. La salida *PorcenEnfer* es una media ponderada de los centros de gravedad de los conjuntos de salida correspondientes a cada regla, es decir, el paciente está enfermo un 66.32 por ciento; por consiguiente se considera que debe ir *una vez cada seis meses al oftalmólogo* según lo siguiente:

El prediagnóstico finalmente dado, se obtiene de hacer una partición clásica de los conjuntos de salida, donde los rangos de cada conjunto son los siguientes: para decir que el paciente es *sano*, la salida del sistema difuso debe ser mayor que o igual a 0% y menor que o igual a 35%; para determinar que el paciente debe acudir al oftalmólogo *una vez cada seis meses* la salida debe ser mayor que 35% y menor que o igual a 75%; por último, si la salida es mayor que el 75%, el paciente deberá acudir al oftalmólogo *urgentemente*.

3.3 Módulo retinopatía diabética

Al igual que con el glaucoma, se investigó sobre la retinopatía diabética. En principio, se tenían 15 factores de riesgo (variables), las cuales fueron revisadas por la especialista para decidir los rangos normales de cada una de ellas, definir cuáles de ellas deberían considerarse y con qué grado de importancia. A continuación se muestra una tabla donde podemos observar la información que fue proporcionada por la oftalmóloga para las 13 variables que se determinó considerar:

TABLA XI Variables a considerar para la retinopatía diabética con su rangos o valores (normales) y grado de importancia			
Nº	Nombre	Valor o rango normal	Importancia (de 0 a 100)
1	Diabético	No	100
2	Neovascularización	No	100
3	Edema macular	No presenta	100
4	Años con diabetes	<10	75
5	Región de microaneurismas		75
6	Exudados duros	No	75
7	Lugar de los exudados duros		50
8	Número de exudados duros	0	50
9	Tipo de visión	Normal	50
10	Microaneurismas	No	15
11	Número de microaneurismas	0	15
12	Gotas de sangre	No	10
13	Lugar de las gotas de sangre		10

Cabe mencionar que si una variable depende de otra, la primera se nulificara al momento en que la variable no dependiente también lo haga; por ejemplo, si tenemos que nuestro paciente es diabético, entonces se tomará en cuenta la variable años con diabetes, de lo contrario, si nuestro paciente no es diabético, entonces no se tomará en cuenta la variable años con diabetes.

Hasta el momento se estaba considerando la variable neovascularización cuya obtención presentaba un cierto grado de complicación, por lo que en este trabajo se decidió no analizarla.

Las variables enlistadas en la tabla anterior se pondrán en términos difusos; el siguiente paso es determinar sus particiones y funciones de membresía para cada una de ellas. Al igual que en el glaucoma se utilizan dos tipos de funciones de membresía: la tipo *Singleton* y la tipo trapezoidal. Las variables que son bivalentes en la retinopatía diabética tendrán una partición como se muestra en la figura 58, que utiliza la función de membresía tipo *Singleton*.

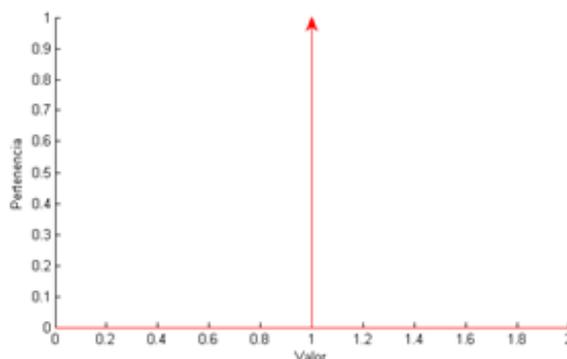


Fig. 58 Partición para las variables bivalentes en la retinopatía diabática con función de tipo *Singleton*.

A continuación se describen brevemente las variables, su rango y la forma en que se han fusificado.

3.3.1 Diabético

Esta variable es *bivalente* (puede tomar solo dos valores), se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a si nuestro paciente es diabético o no. Tiene un alto grado de importancia como se esperaría (valor de 100 asignado por la oftalmóloga), debido a que la retinopatía diabética es una complicación de la diabetes mellitus y una de las causas principales de la ceguera. Si nuestro paciente no es diabético no tendría sentido analizarlo por esta patología. La forma en que puede ser fusificada es mediante la función de membresía de tipo *Singleton* (figura 58), la que representaría únicamente una partición con solamente dos valores (0 y 1); al tomar el valor uno, es decir Verdadero, tendrá una membresía de 1 y será cero en cualquier otro caso (Falso ó 0). En términos difusos quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Diabético que abreviaremos como Diabet.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: En este caso es sólo uno el cual denominamos como aplica en vez de verdadero, esto para saber que si contribuye a la enfermedad; el conjunto es el siguiente: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.3.2 Neovascularización

Se refiere a si los pacientes de retinopatía diabética presentan neovascularización y desarrollo de un componente fibroso o no. A esta variable la consideraremos *bivalente*, por lo que al igual que con todas las que son de este tipo, tomarán el valor de membresía 1 cuando sea Verdadera y membresía 0 en cualquier otro caso (figura 58). Se obtendrá por anamnesis. Es catalogada de alta importancia para la determinación de la retinopatía diabética, con un valor de 100. De forma difusa podemos poner a la variable de la siguiente manera:

Variable lingüística: Neovascularización, que abreviaremos como Neovascu.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.3.3 Edema macular

Se refiere a la inflamación de la mácula que provoca un nublado en la visión a consecuencia del goteo de líquido dentro del centro de la mácula, que es la parte del ojo que provee la visión central clara. El valor de esta variable se obtendrá del análisis de la imagen oftalmoscópica de fondo de ojo de la retina y cabe mencionar que es *bivalente*. Tiene un grado de importancia asignado por la

oftalmóloga de 100; ya que es probable que ocurra en cualquier etapa de la retinopatía diabética, aunque es más probable que ocurra al progresar la enfermedad. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 58). En términos difusos la variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Edema macular que abreviaremos como EdeMacu.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.3.4 Años con diabetes

Aproximadamente un 60%, de los diabéticos padece retinopatía diabética 15 ó 20 años después de ser diagnosticados con la enfermedad. Por ésta razón se considera un factor de riesgo importante (un 75 de importancia en la escala de 0 a 100). Esta variable se obtendrá a través de la anamnesis; es fusificable, por lo que puede tomar valores *numéricos* (años) o *cadena*s. Para establecer las tres particiones de esta variable elegiremos funciones trapezoidales: la primera va de 0 a 15 años, la cual se considerará como *poco tiempo*; de 5 a 35 años se tomará como un *tiempo considerable* y por último, si sobrepasa los 25 años de que se diagnosticó su enfermedad, se tomará como *mucho tiempo*. Al poner la variable en términos de lógica difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Años con diabetes que abreviaremos como AnioDiabet.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {poco tiempo, tiempo considerable, mucho tiempo}, que de manera abreviada queda como {pt, tc, mt}.

El universo de discurso: [0, 60] años.

Funciones de membresía: $\{\mu_{pt}(t), \mu_{tc}(t), \mu_{mt}(t)\}$

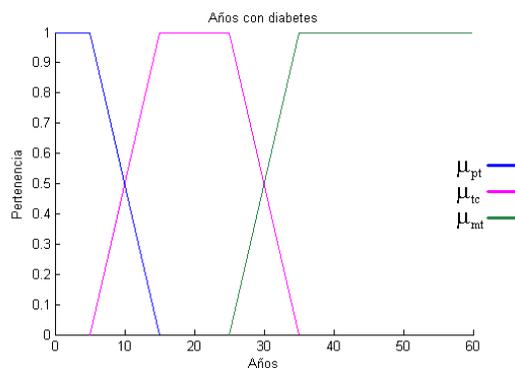


Fig. 59 Particiones para la variable AnioDiabet con funciones de tipo trapezoidal.

3.3.5 Región de microaneurismas

Variable que se obtiene por el análisis de las imágenes; por lo tanto, puede tomar tanto valores *numéricos* como *cadena*s de texto. Se refiere a la región en donde aparecen los microaneurismas; sin embargo, la importancia radica en la cercanía de los microaneurismas a la mácula. Se sabe que entre más cercanos estén los microaneurismas de la mácula, es mayor el riesgo. En consecuencia se considerarán tres niveles: como *muy cercano* cuando algún microaneurisma se encuentre en un radio de 0 a 400 micras a partir del centro de la mácula; se considerará un microaneurisma como *cercano* si se encuentra en un radio de 250 a 650 micras; finalmente, se considera *lejano* aquel microaneurisma que se encuentre por lo menos a 500 micras de distancia a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de microaneurismas que abreviaremos como RegMicro.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercano, cercano, lejano}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

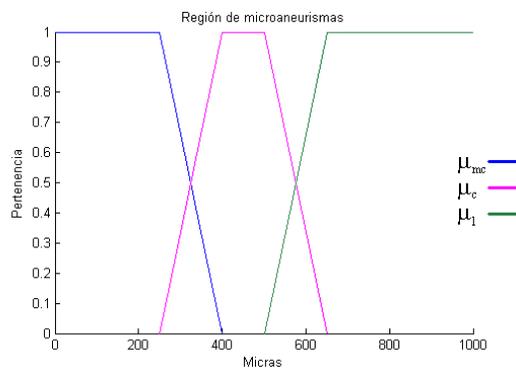


Fig. 60 Particiones para la variable RegMicro con funciones de tipo trapezoidal.

Cabe mencionar que tiene un grado de importancia considerable (75), según lo señalado por la oftalmóloga.

3.3.6 Exudados duros

Variable *bivalente* (V/F) con una partición como se muestra en la figura 58, obtenida por el análisis de imágenes e indica si la persona tiene o no exudados duros (depósitos pálidos y grasosos). Es catalogada con importancia media-alta, ya que aunque no es determinante para que una persona tenga retinopatía diabética, sí es un factor de riesgo que influye en la aparición de la enfermedad. Valor de importancia: 75.

Variable lingüística: Exudados duros que abreviaremos como ExuDur.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.3.7 Región de exudados duros

Se refiere a la región en donde aparecen los exudados duros. Al igual que en el caso de los microaneurismas la importancia radica en la cercanía a la mácula (con un 50 de importancia según el criterio de la oftalmóloga). Se sabe que es mayor el riesgo cuando el objeto esté más cerca de la mácula. Se obtiene a partir del análisis de las imágenes. En esta variable se considerarán tres niveles con funciones de tipo trapezoidal: como *muy cercano* todo exudado duro cuyo centroide se encuentre en un radio de 0 a 450 micras a partir del centro de la mácula; se considerará un exudado duro como *cercano* si se encuentra en un radio de 300 a 750 micras; finalmente se considerará *lejano* el exudado cuyo centroide se encuentre al menos a 600 micras de distancia a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de exudado duro que abreviaremos como RegExuD.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercano, cercano, lejano}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

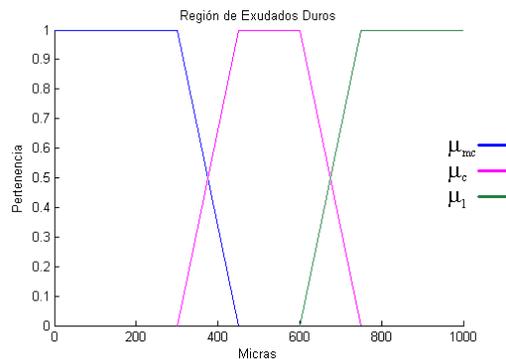


Fig. 61 Particiones para la variable RegExuD con funciones de tipo trapezoidal.

3.3.8 Número de exudados duros

Además de tomar en cuenta la existencia de exudados duros en el paciente, no debe dejarse de lado el número de exudados, ya que aun siendo lejanos son indicios de que presenta retinopatía diabética y entre más exudados duros haya es mayor el riesgo. Esta variable se obtendrá del análisis de

imágenes y al fusificarla tendremos tres particiones con funciones trapezoidales. Se manejará la cantidad de exudados en tres niveles, es decir, si tenemos de 1 a 16 exudados consideraremos que son *pocos*; si la cantidad asciende al rango de 12 a 28 entonces se tomará como *considerables* y por último, si el número de exudados sobrepasa los 24 no hay duda que se considerará que hay *muchos*. Definiendo la variable en términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Número de exudados que abreviaremos como NumExu.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {pocos, considerables, muchos}, que de manera abreviada queda como {p, c, m}.

El universo de discurso: [0, 100].

Funciones de membresía: $\{\mu_p(t), \mu_c(t), \mu_m(t)\}$

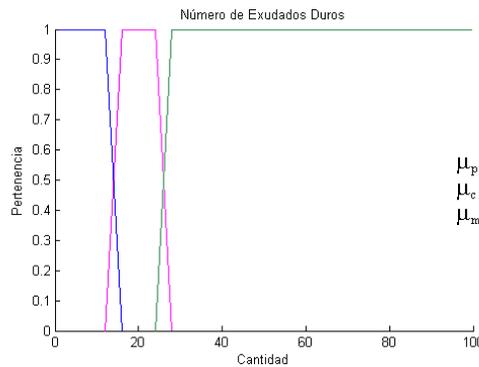


Fig. 62 Particiones para la variable NumExu con funciones de tipo trapezoidal.

El grado de importancia es medio para esta variable (50), según lo señalado por la oftalmóloga.

3.3.9 Tipo de visión

Se refiere a que los pacientes de retinopatía diabética, al principio, ven unas manchitas de sangre que "flotan" en su visión. Pueden aparecer manchas más grandes. A esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F) con una partición como la mostrada en la figura 58, la cual es obtenida por anamnesis e indica si el paciente tiene o no visión con manchas de sangre. Es catalogada de importancia media con un valor de 50. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Visión con manchas de sangre que abreviaremos como VisManSang.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.3.10 Microaneurismas

Variable *bivalente* (V/F) que tiene como función de membresía la tipo *Singleton* (figura 58), se obtiene por el análisis de las imágenes e indica si la persona tiene o no microaneurismas. Es catalogada con importancia baja en comparación con las demás con un valor de 15. En términos difusos nuestra variable quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Microaneurismas que abreviaremos como Microaneu.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.3.11 Número de microaneurismas

Ya se ha tomado en cuenta la existencia de los microaneurismas y su región donde se presentan en nuestro paciente, pero también hay que tomar en cuenta el número de microaneurismas que se detecten, ya que es un factor de riesgo para la retinopatía diabética. Esta variable se obtendrá del análisis de imágenes. Tendremos tres particiones con funciones trapezoidales. La primera cubrirá el rango de 1 a 11 microaneurismas y diremos que son *pocos*; si la cantidad está en el rango de 6 a 22 entonces se tomará como *considerables* y por último si el número de exudados sobrepasa los 17 no hay duda de que se considerará que hay *muchos*. La importancia es baja para esta variable (15), según lo señalado por la oftalmóloga. Definiendo la variable en términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Número de microaneurismas que abreviaremos como NumMicro.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {pocos, considerables, muchos}; que de manera abreviada queda como {p, c, m}.

El universo de discurso: [0, 100].

Funciones de membresía: $\{\mu_p(t), \mu_c(t), \mu_m(t)\}$

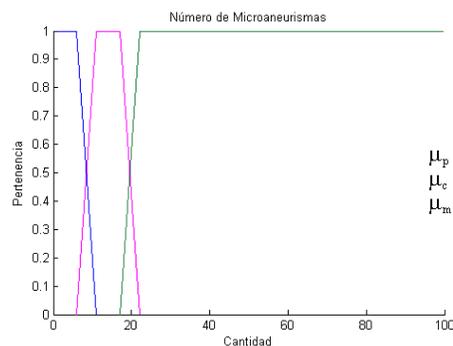


Fig. 63 Particiones para la variable NumMicro con funciones de tipo trapezoidal.

3.3.12 Gotas de sangre

Se refiere a que es común que el paciente pueda desarrollar vasos sanguíneos anormales y frágiles que pueden gotear sangre en el centro de la mácula, opacando la visión. Esto ocurre en el caso de la retinopatía proliferativa y es la cuarta y más avanzada etapa de la enfermedad. La variable únicamente indicará si el paciente presenta gotas de sangre o no y se obtendrá mediante el análisis de imagen con una importancia de 10. En términos difusos tenemos lo siguiente (figura 58):

Variable lingüística: Gotas de sangre que abreviaremos como GotSang.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.3.13 Región de las gotas de sangre

La importancia de esta variable radica en la cercanía de las gotas de sangre a la mácula, como en las otras afecciones. Entre más cerca estén, mayor será el riesgo. Se obtiene a partir del análisis de las imágenes. En esta variable se considerarán tres niveles, como en las anteriores, y con las mismas particiones; *muy cerca* se considerará toda gota de sangre que se encuentre en un radio de 0 a 450 micras; se considerará como *cercana* si la gota está en un radio de 300 a 750 micras y finalmente se considera *lejana* toda gota que se encuentre a lo menos 600 micras; la distancia en todos los niveles es a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de las gotas de sangre que abreviaremos como RegGotSan.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercana, cercana, lejana}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

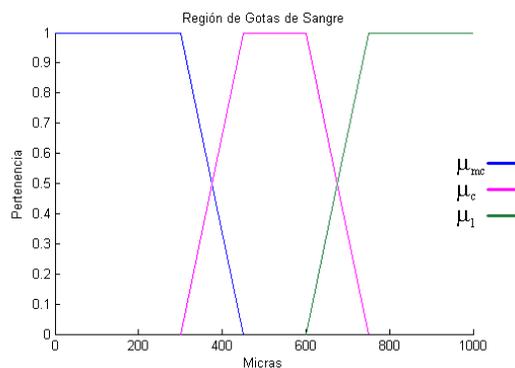


Fig. 64 Particiones para la variable RegGotSan con funciones de tipo trapezoidal.

En un futuro, cuando el subsistema sea integrado al proyecto final, se considerarán como datos a preguntar a los sujetos, las siguientes variables que saldrán de las preguntas al confeccionar la historia clínica:

- Diabético
- Neovascularización
- Años con diabetes
- Tipo de Visión (con gotas de sangre)

Además, las variables que se enlistan a continuación se consideran que son resultado del análisis de las imágenes oftalmoscópicas:

- Edema macular
- Región de microaneurismas
- Exudados duros
- Lugar de los exudados duros
- Número de exudados duros
- Microaneurismas
- Número de microaneurismas
- Gotas de sangre
- Lugar de gotas de sangre

3.3.14 Metodología

Una vez que se han definido todas y cada una de las variables en términos de la lógica difusa para esta enfermedad, los pasos a seguir en la metodología son los mismos que los del glaucoma; lo único que cambia son las variables a evaluar en cada paso.

El primer paso consiste en definir las particiones correspondientes a las variables de salida; en nuestro caso sólo una es exactamente la misma que en el caso del glaucoma (el Porcentaje de la Enfermedad), con sus tres particiones, cada una con su función de tipo trapezoidal (figura 63).

Elegiremos las reglas de tipo Mamdani (ecuación 25) para expresar el conocimiento de nuestra experta. Se ha de definir la base de reglas, las cuales asociarán a cada una de las posibles combinaciones de las entradas un valor de salida. Para esto haremos uso de la(s) memoria(s) asociativa(s) difusa(s) o FAM (*Fuzzy Associative Memory*), como la de la Tabla X. Se crea una FAM con cada una de las combinaciones que puede hacerse con las variables de esta enfermedad, sin repetir ninguna combinación. En el apéndice A se muestran las FAM para esta enfermedad.

Una vez desarrollada la base de reglas difusas, utilizaremos el sistema descrito en la ecuación 44, es decir, un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros ecuación 39, implicación difusa por la regla del mínimo ecuaciones 28 y 34, y fusificador tipo *Singleton*.

La metodología es exactamente la misma que la expuesta para el glaucoma: al final se calcula el valor de la salida, siguiendo el procedimiento de la media de centros ecuación 44 obteniendo como resultado la salida PorcenEnfer, que es una media ponderada de los centros de gravedad de los conjuntos de salida correspondientes a cada regla, es decir, para cada enfermedad obtendremos un valor numérico que ubicaremos dentro de los rangos de cada conjunto clásico ya antes mencionado, obteniéndose así el prediagnóstico.

3.4 Módulo retinopatía hipertensiva

Después de la investigación acerca de la enfermedad, se tenían 31 factores de riesgo (variables), las cuales se dieron a conocer a la especialista con el fin de que se establecieran los rangos normales de cada una de ellas, definir cuáles de ellas deberían considerarse y con qué grado de importancia (TABLA XII).

TABLA XII Variables a considerar para la retinopatía hipertensiva con sus rangos o valores (normales) y grado de importancia			
Nº	Nombre	Valor o rango normal	Importancia (de 0 a 100)
1	Hipertenso	No	100
2	Esclerosis arterial	No presenta	100
3	Vasoconstricción	No presenta	100
4	Eclampsia	N/A	100
5	Relación arteria – vena	2:3	100
6	Extravasación	No presenta	90
7	Región de hemorragias en llama		90
8	Hemorragias en llama	No	80
9	Número de hemorragias en llama	0	80
10	Preeclampsia	N/A	75
11	Feocromocitoma	N/A	70
12	Exudados suaves	No	70
13	Número de exudados suaves	0	70
14	Exudados duros	No	70
15	Número de exudados duros	0	70
16	Región de exudados duros		70
17	Hilo de cobre	No presenta	70
18	Hilo de plata	No presenta	70
19	Región de exudados suaves		50
20	Tipo de visión	Normal	50
21	Edema macular	No presenta	50
22	Brillo arteriolar	No presenta	30
23	Edema papilar	No presenta	10

Seleccionadas las variables que finalmente han de ser fusificadas, el siguiente paso consiste en determinar sus particiones y las funciones de membresía para cada una de ellas. Se utilizan dos tipos de funciones de membresía: la tipo *Singleton* y la tipo trapezoidal. Para no ser tan repetitivos, las variables que son bivalentes en esta enfermedad harán referencia a la partición mostrada en la figura 65, que utiliza la función de membresía tipo *Singleton*.

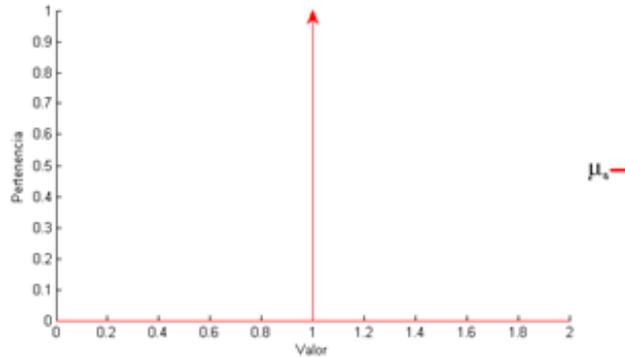


Fig. 65 Partición para las variables bivalentes de la retinopatía hipertensiva con función de tipo **Singleton**.

Enseguida se listan las variables con una breve descripción, su rango y en la forma en que se han fusificado.

3.4.1 Hipertenso

Esta variable es *bivalente*, se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a que si nuestro paciente es hipertenso o no. Tiene un alto grado de importancia (valor de 100 asignado por la oftalmóloga). Si nuestro paciente no es hipertenso no tendría sentido analizarlo por esta enfermedad. Se fusifica mediante la función de membresía de tipo *Singleton* (figura 65). En términos difusos quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Hipertenso que abreviaremos como Hiper.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: En este caso es sólo uno, el cual denominamos como aplica en vez de verdadero; esto es porque si contribuye a la enfermedad, el conjunto es el siguiente: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.2 Esclerosis arterial

Se refiere a que la retinopatía hipertensiva provoca la esclerosis arterial o la acentúa si ya existe. A esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F), por lo que, al igual que a todas las que son de este tipo, tomarán el valor de membresía de 1 cuando sea verdadera y membresía 0 en cualquier otro caso (figura 65). Se obtendrá por anamnesis. Indica si el paciente presenta o no esclerosis arterial. Es catalogada de alta importancia para la determinación de la retinopatía hipertensiva, con un valor de 100. De forma difusa podemos poner a la variable de la siguiente manera:

Variable lingüística: Esclerosis arterial que abreviaremos como EsclArt.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.3 Vasoconstricción

Cuando se tiene retinopatía hipertensiva, la vasoconstricción se manifiesta en el fondo de ojo. Esta variable se obtendrá de la anamnesis, es *bivalente* y tiene un grado de importancia de 100 asignado por la oftalmóloga. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 65). En términos difusos nuestra variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Vasoconstricción que abreviaremos como Vasocons.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.4 Eclampsia

Variable *bivalente* (V/F) que puede ser fusificada (figura 65), es obtenida por anamnesis e indica si la persona tiene o no eclampsia. Es catalogada con valor de importancia de 100 porque la retinopatía hipertensiva aguda se observa principalmente en pacientes con eclampsia.

Variable lingüística: Eclampsia duros que abreviaremos como Eclam.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.5 Relación arteria – vena anormal

Se refiere a que en pacientes con hipertensión arterial crónica, uno de los hallazgos más tempranos es una disminución difusa del calibre arteriolar, perdiéndose la relación AV (arteria-vena) normal de 2:3, que puede ser observada en el fondo de ojo. A esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F) con una partición como la que se muestra en la figura 65, es obtenida por anamnesis e indica

si el paciente tiene o no una relación AV anormal. Es catalogada de importancia alta con un valor de 100. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Relación arteria – vena anormal que abreviaremos como RAVA.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.6 Extravasación

Variable *bivalente* (V/F) que puede ser fusificada (figura 65), es obtenida por anamnesis e indica si la persona tiene o no extravasación. Es catalogada con importancia alta con un valor de 90. En términos difusos nuestra variable quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Extravasación que abreviaremos como Extravas.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.7 Región de hemorragias en llama

Se refiere a la región en donde aparecen las hemorragias en llama; la importancia radica en la cercanía a la mácula (con un 90 de importancia según el criterio de la oftalmóloga). Se sabe que el riesgo aumenta cuando la hemorragia esté más cerca de la mácula. Debe obtenerse a partir del análisis de imágenes. En esta variable se considerarán tres niveles; como *muy cercana*: toda hemorragia que se encuentre en un radio de 0 a 450 micras: se considerara una hemorragia *cercana* si se encuentra en un radio de 300 a 750 micras; y finalmente se considera *lejana*: si la hemorragia se encuentre a más de 600 micras de distancia a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de hemorragia en llama que abreviaremos como RegHemo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercana, cercana, lejana}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

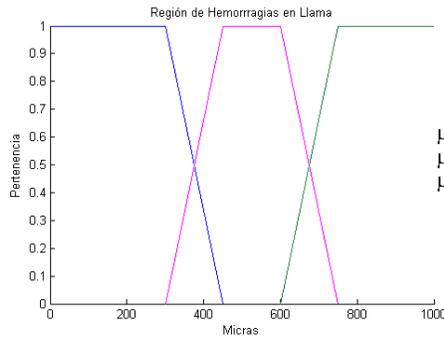


Fig. 66 Particiones para la variable RegHemo con funciones de tipo trapezoidal.

3.4.8 Hemorragias en llama

Se refiere a que es común que el paciente desarrolle hemorragias en llama. La variable indicará si el paciente presenta o no dichas hemorragias y se obtendrá mediante el análisis de imágenes (con importancia de 80). En términos difusos tenemos lo siguiente (figura 65):

Variable lingüística: Hemorragias en llama que abreviaremos como Hemo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.9 Número de hemorragias en llama

Ya que se ha tomado en cuenta la existencia y la región donde se presentan las hemorragias en forma de llama de nuestro paciente; ahora hay que tomar en cuenta el número de las mismas, ya que es factor de riesgo para la retinopatía hipertensiva. Esta variable se obtendrá del análisis de imágenes. Existirán tres particiones con funciones trapezoidales. La primera cubrirá si tenemos de 1 a 5 hemorragias y diremos que son *pocas*; si la cantidad está en el rango de 2 a 8 entonces se tomará como *considerable* la cantidad de hemorragias encontradas y por último si el número de hemorragias excede las 6 unidades se considerará que hay *muchas*. El grado de importancia de esta variable es de 80. Definiendo la variable en términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Número de hemorragias en llama que abreviaremos como NumHemo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {pocas, considerable, muchas}; que de manera abreviada queda como {p, c, m}.

El universo de discurso: [0, 100].

Funciones de membresía: $\{\mu_p(t), \mu_c(t), \mu_m(t)\}$

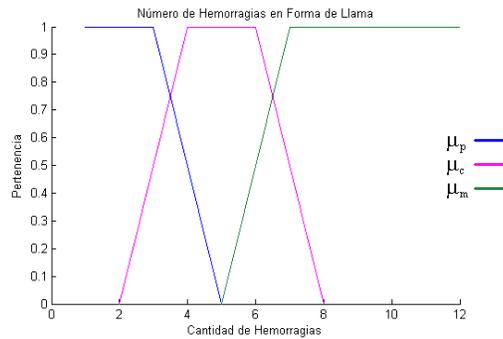


Fig. 67 Particiones para la variable NumHemo con funciones de tipo trapezoidal.

3.4.10 Preeclampsia

Variable *bivalente* que se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a si nuestro paciente padece de preeclampsia o no. Tiene un grado de importancia considerable de 75 porque la retinopatía hipertensiva aguda se observa en pacientes con preeclampsia. Se fusifica mediante la función de membresía de tipo *Singleton* que representa únicamente una partición (figura 65), teniendo solamente dos valores 0 y 1; si es verdadero, tendrá una membresía de 1 y cero en cualquier otro caso (falso ó 0). De forma difusa se tiene lo siguiente:

Variable lingüística: Preeclampsia que abreviaremos como Preclam.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.11 Feocromocitoma

Es muy probable que pacientes que padecen feocromocitoma desarrollen retinopatía hipertensiva. Esta variable es *bivalente* (V/F), tomará el valor de membresía de 1 cuando sea verdadera y membresía 0 en cualquier otro caso (figura 65). Se obtendrá por anamnesis y tiene una importancia de 70. De forma difusa definiremos a la variable de la siguiente manera:

Variable lingüística: Feocromocitoma que abreviaremos como Feocro.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.12 Exudados suaves

Variable *bivalente* (V/F) obtenida por el análisis de imágenes con una partición como la que se muestra en la figura 65 e indica si la persona tiene o no exudados suaves (manchas algodonosas), originados por la obstrucción de las arteriolas precapilares. Es catalogada con importancia media-alta, ya que aunque no es determinante para que una persona tenga retinopatía hipertensiva, sí es un factor de riesgo que influye en la aparición de la enfermedad. Valor de importancia: 70.

Variable lingüística: Exudados suaves que abreviaremos como ExuSua.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.13 Número de exudados suaves

Además de tomar en cuenta si hay existencia de exudados suaves en nuestro paciente, no hay que dejar de lado el número de estos, ya que son indicios de que presenta retinopatía hipertensiva y entre más haya de este tipo de exudado mayor es el riesgo. Esta variable se obtendrá del análisis de imágenes y al fusificarla tendremos tres particiones con funciones trapezoidales. Se manejará la cantidad de exudados en tres niveles; es decir, si tenemos de 1 a 16 exudados consideraremos que son *pocos*; si la cantidad asciende al rango de 12 a 28 entonces se tomará como *considerable* y por último si el número de exudados sobrepasa los 24 no hay duda de que se considerará que hay *muchos*. Definiendo la variable en términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Número de exudados suaves que abreviaremos como NumExuS.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {pocos, considerable, muchos}; que de manera abreviada queda como {p, c, m}.

El universo de discurso: [0, 100].

Funciones de membresía: $\{\mu_p(t), \mu_c(t), \mu_m(t)\}$

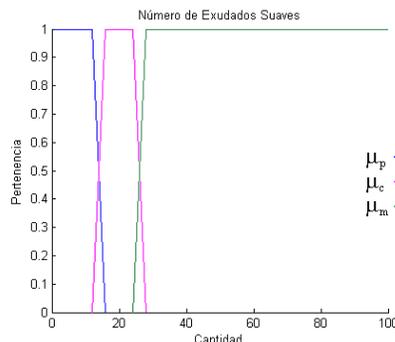


Fig. 68 Particiones para la variable NumExuS con funciones de tipo trapezoidal.

El grado de importancia es media-alta para esta variable con un valor de 70, según lo señalado por la oftalmóloga.

3.4.14 Exudados duros

Variable *bivalente* (V/F) con una sola partición (figura 65), obtenida por el análisis de imágenes e indica si la persona tiene o no exudados duros (depósitos pálidos y grasosos). Es catalogada con importancia media-alta, aunque no es determinante para que una persona tenga retinopatía hipertensiva. Valor de importancia: 70.

Variable lingüística: Exudados duros que abreviaremos como ExuDur.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.15 Número de exudados duros

Además de tomar en cuenta la existencia de exudados duros en el paciente, no debe dejarse de lado el número, ya que aun estando lejanos a la mácula son indicios de que presenta retinopatía hipertensiva y entre más exudados duros haya es mayor el riesgo. Esta variable se obtendrá del análisis de imágenes y al fusificarla tendremos tres particiones con funciones trapezoidales. Se manejará la cantidad de exudados en tres niveles, es decir, si tenemos de 1 a 16 exudados consideraremos que son *pocos*; si la cantidad asciende al rango de 12 a 28 entonces se tomará como *considerables* y por último, si el número de exudados sobrepasa los 24 no hay duda que se considerará que hay *muchos*. El grado de importancia es media-alta para esta variable (70), según lo señalado por la oftalmóloga. Definiendo la variable en términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Número de exudados que abreviaremos como NumExu.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {pocos, considerables, muchos}, que de manera abreviada queda como {p, c, m}.

El universo de discurso: [0, 100].

Funciones de membresía: $\{\mu_p(t), \mu_c(t), \mu_m(t)\}$

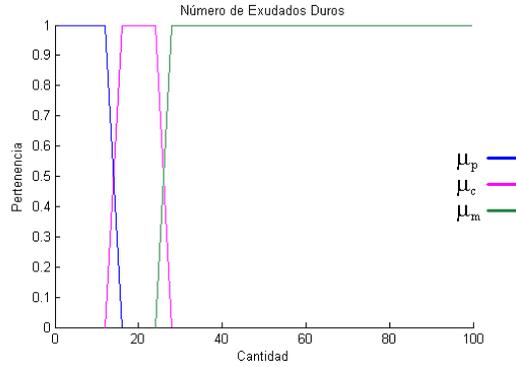


Fig. 69 Particiones para la variable NumExu con funciones de tipo trapezoidal.

3.4.16 Región de exudados duros

Se refiere a la región en donde aparecen los exudados duros. La importancia radica en la cercanía a la mácula (con un 70 de importancia según el criterio de la oftalmóloga). Se sabe que es mayor el riesgo cuando el objeto esté más cerca de la mácula. Se obtiene a partir del análisis de las imágenes. En esta variable se considerarán tres niveles con funciones de tipo trapezoidal: como *muy cercano* todo exudado duro cuyo centroide se encuentre en un radio de 0 a 450 micras a partir del centro de la mácula; se considerará un exudado duro como *cercano* si se encuentra en un radio de 300 a 750 micras; finalmente se considerará *lejano* el exudado cuyo centroide se encuentre al menos a 600 micras de distancia a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de exudado duro que abreviaremos como RegExuD.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercano, cercano, lejano}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

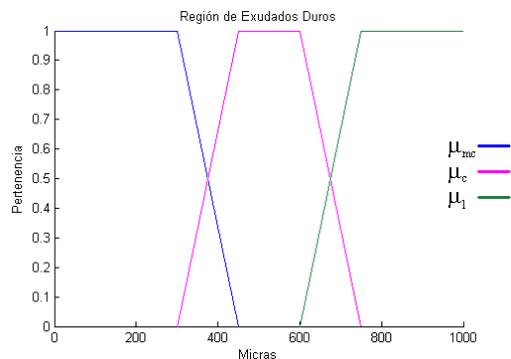


Fig. 70 Particiones para la variable RegExuD con funciones de tipo trapezoidal.

3.4.17 Hilo de cobre

Esta variable es *bivalente*, se obtiene a través del análisis de imágenes y se refiere a que si nuestro paciente padece de retinopatía hipertensiva, podremos observar en el fondo de ojo que disminuye la visibilidad de la columna de sangre y el brillo arteriolar se torna café-rojizo. Tiene un grado de importancia de 70 asignado por la oftalmóloga. Se fusifica mediante la función de membresía de tipo *Singleton* (figura 65). En términos difusos quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Hilo de cobre que abreviaremos como HilCob.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.18 Hilo de plata

Se refiere a que por la retinopatía hipertensiva en una etapa algo avanzada, la pared del vaso pierde por completo su transparencia, perdiéndose la visibilidad de la columna de sangre y adquiriendo el vaso un aspecto blanquecino (hilo de plata). A esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F), tomará el valor de membresía 1 cuando sea verdadera y membresía 0 en cualquier otro caso (figura 65). Se obtendrá por análisis de imágenes y es catalogada de importancia media-alta para la determinación de la retinopatía hipertensiva, con un valor de 70. De forma difusa podemos poner a la variable de la siguiente manera:

Variable lingüística: Hilo de plata que abreviaremos como HilPlat.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.19 Región de exudados suaves

Se refiere a la región en donde aparecen los exudados suaves; la importancia radica en la cercanía a la mácula con un 50 de importancia a criterio de la oftalmóloga. Debe obtenerse a partir del análisis de imágenes. En esta variable se considerarán tres niveles: como *muy cercano* todo exudado suave que se encuentre en un radio de 0 a 450 micras; *cercano* si el exudado suave se encuentra en un radio de 300 a 750 micras; finalmente se considera *lejano* el exudado que se encuentre a más de 600 micras de distancia a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de exudado suave que abreviaremos como RegExuS.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercano, cercano, lejano}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

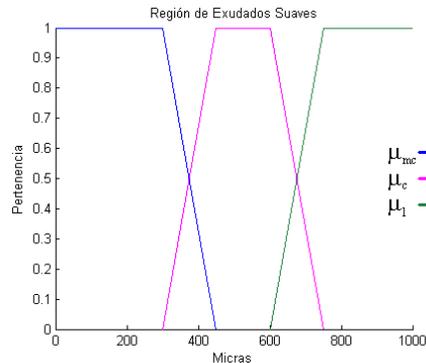


Fig. 71 Particiones para la variable *RegExuS* con funciones de tipo trapezoidal.

3.4.20 Tipo de visión

Se refiere a que el paciente de retinopatía hipertensiva se caracteriza por disminución de la agudeza visual, la que puede ser desde visión borrosa (lo más frecuente) hasta la ceguera. Característicamente esta disminución de agudeza visual es transitoria y se normaliza al restablecerse los valores normales de presión arterial. Esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F) con una partición como se muestra en la figura 65, es obtenida por anamnesis e indica si el paciente tiene o no visión borrosa. Es catalogada de importancia media con un valor de 50. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Visión borrosa que abreviaremos como VisBorro.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.21 Edema macular

Se refiere a que el paciente hipertenso puede llegar a desarrollar edema macular. El valor de esta variable se obtendrá del análisis de la imagen oftalmoscópica de fondo de ojo de la retina y cabe mencionar que es *bivalente*. Tiene un grado de importancia asignado por la oftalmóloga de 50. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 65). En términos difusos la variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Edema macular que abreviaremos como EdeMacu.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.22 Brillo arteriolar

Variable *bivalente* (V/F) fusificada con una sola partición con función de tipo *Singleton* (figura 65), es obtenida por análisis de imágenes e indica si la persona tiene o no un brillo arteriolar normal. Cuando se es hipertenso el brillo arteriolar pierde su aspecto normal (delgado y en la mitad de la columna de sangre), tornándose menos brillante, más ancho y más difuso. Es catalogada con importancia media-baja; valor de importancia de 30.

Variable lingüística: Brillo arteriolar que abreviaremos como BriArte.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.4.23 Edema papilar

Variable *bivalente* (V/F) con una partición como la que se muestra en la figura 65, es obtenida por análisis de imágenes e indica si la persona tiene o no edema papilar (se presenta en el grado IV de la retinopatía hipertensiva). Es catalogada con importancia baja en comparación de las demás con un valor de 10. En términos difusos nuestra variable quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Edema papilar que abreviaremos como EdePapi.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

En un futuro, cuando el subsistema sea integrado al proyecto final, se considerarán como datos a preguntar a los sujetos o serán determinados por el que ausculte al paciente, las siguientes variables que saldrán de las preguntas al confeccionar la historia clínica:

- Hipertenso
- Esclerosis arterial

- Vasoconstricción
- Eclampsia
- Relación AV
- Extravasación
- Preeclampsia
- Feocromocitoma
- Tipo de visión

Además, las variables que se enlistan a continuación se consideran que son el resultado del análisis de las imágenes oftalmoscópicas:

- Región de hemorragias en llama
- Hemorragias en llama
- Número de hemorragias en llama
- Exudados suaves
- Número de exudados suaves
- Exudados duros
- Número de exudados duros
- Región de exudados duros
- Hilo de cobre
- Hilo de plata
- Región de exudados suaves
- Edema macular
- Brillo arteriolar
- Edema papilar

3.4.24 Metodología

Se ha definido hasta ahora cada una de las variables en términos de lógica difusa para esta enfermedad. La metodología a seguir es la misma que la usada para el glaucoma y la retinopatía diabética; lo único que cambian son las variables a evaluar en cada paso.

El primer punto en la metodología consiste en definir las particiones correspondientes a las variables de salida; en nuestro caso sólo una es exactamente la misma que en el glaucoma y en la retinopatía diabética (el Porcentaje de la Enfermedad), con sus tres particiones, cada una con su función de tipo trapezoidal (figura 63).

Elegiremos las reglas de tipo Mamdani (ecuación 25). Se ha de definir la base de las reglas, que asociarán cada una de las posibles combinaciones de las entradas a un valor de salida; para esto haremos uso de una(s) memoria asociativa difusa o FAM, como la de la Tabla X. Se debe crear una FAM con cada una de las combinaciones que pueden hacerse con las variables de esta enfermedad; sin repetir alguna combinación. En el apéndice A se muestran las FAM para esta enfermedad.

Ya desarrollada la base de las reglas difusas, utilizaremos un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros (ecuación 39), implicación difusa por la regla del mínimo (ecuación 28) y (ecuación 34), y fusificador tipo *Singleton*.

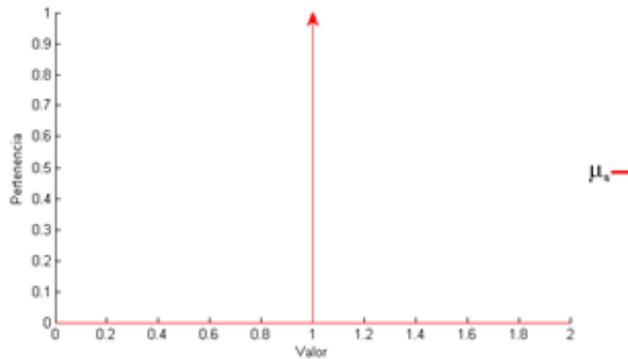
El funcionamiento es exactamente el mismo que en la metodología del glaucoma y de la retinopatía diabética: al final se calcula el valor de la salida, según el procedimiento de la media de centros (ecuación 44) obteniéndose como resultado la salida PorcenEnfer, que es una media ponderada de los centros de gravedad de los conjuntos de salida correspondientes a cada regla, es decir, para cada enfermedad obtendremos un valor numérico que ubicaremos dentro de los rangos de cada conjunto clásico ya antes mencionado, obteniéndose así el prediagnóstico.

3.5 Módulo retinosis pigmentaria

La investigación acerca de la enfermedad nos mostró 21 factores de riesgo (variables), las cuales se dieron a conocer a la especialista con el fin de que se establecieran los rangos normales de cada una de ellas, definir cuáles de ellas deberían considerarse y con qué grado de importancia. El resultado fue el siguiente:

Nº	Nombre	Valor o rango normal	Importancia (de 0 a 100)
1	Familia con retinosis pigmentaria	Sin antecedentes	100
2	Pérdida de bastones y conos	100/4 millones	100
3	Proliferación del epitelio	N/A	100
4	Ceguera nocturna	No	100
5	Deslumbramiento	No	100
6	Edad	<13	80
7	Tipo de visión	Normal	80
8	Bilateral	N/A	80
9	Espículas		75
10	Región de espículas		75
11	Dibujo reticular ramificado		75
12	Sordera	No	70
13	Trastornos endocrinos	No presenta	50
14	Palidez de la papila óptica		25
15	Fuma	No	10
16	Toma	No	10
17	Estrés	No presenta	10

Con las variables ya seleccionadas, el siguiente paso consiste en determinar sus particiones y las funciones de membresía para cada una de ellas. Se utilizan dos tipos de funciones de membresía: la tipo *Singleton* y la tipo trapezoidal. Las variables que son bivalentes en esta enfermedad harán referencia a la partición mostrada en la figura 72.



*Fig. 72 Partición para las variables bivalentes de la retinosis pigmentaria con función de tipo **Singleton**.*

En seguida se listan las variables con una breve descripción, su rango y la forma en que se han fusificado.

3.5.1 Familia con retinosis pigmentaria

La retinosis pigmentaria es una enfermedad ocular de carácter degenerativo y hereditario; esta variable tiene un alto grado de importancia (valor de 100 asignado por la oftalmóloga). La variable es *bivalente*, se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a si nuestro paciente tiene (o tuvo) algún familiar que padezca de retinosis pigmentaria o no. La forma en que se ha de fusificar es mediante la función de membresía de tipo *Singleton* (figura 72), la que representaría únicamente una partición con solamente dos valores (0 y 1). En términos difusos:

Variable lingüística: Familia con retinosis pigmentaria que abreviaremos como FamFig.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: En este caso es sólo uno, el cual denominamos como aplica en vez de verdadero, esto para saber que si contribuye a la enfermedad; el conjunto es el siguiente: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.2 Pérdida de bastones y conos

La retinosis pigmentaria se caracteriza por la pérdida de los bastones y los conos. Esta variable se obtendrá de la anamnesis con una partición como la que se muestra en la figura 72 e indicará si existe o no pérdida de bastones y conos. Definiendo la variable en términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Pérdida de bastones y conos que abreviaremos como PerBaCo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

El grado de importancia es alto para esta variable (100), según lo señalado por la oftalmóloga.

3.5.3 Proliferación del epitelio

Otro factor que caracteriza a la retinosis pigmentaria es la proliferación del epitelio. A esta variable la consideraremos *bivalente*, por lo que al igual que con todas las que son de este tipo, tomarán el valor de membresía 1 cuando sea Verdadera y membresía 0 en cualquier otro caso (figura 72). Se obtendrá por anamnesis. Es catalogada de alta importancia para la determinación de la patología, con un valor de 100. De forma difusa podemos poner a la variable de la siguiente manera:

Variable lingüística: Proliferación del epitelio, que abreviaremos como ProEpi.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.4 Ceguera nocturna

Se refiere a que una persona con retinosis pigmentaria por lo regular padece ceguera nocturna, o lo que es lo mismo, lenta capacidad para adaptarse a la oscuridad. El valor de esta variable se obtendrá de la anamnesis y cabe mencionar que es *bivalente*. Tiene un grado de importancia asignado por la oftalmóloga de 100. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 72). En términos difusos la variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Ceguera nocturna que abreviaremos como CeNo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.5 Deslumbramiento

Variable *bivalente* (V/F) obtenida por anamnesis e indica si la persona tiene o no deslumbramiento, como molestias ante la excesiva luminosidad, lo que hace necesario utilizar gafas de sol especiales. La variable tiene una partición como la mostrada en la figura 72. Es catalogada con importancia alta con un valor de 100.

Variable lingüística: Deslumbramiento que abreviaremos como Deslum.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.6 Edad

Aunque se nace con la enfermedad, ésta es raro que se manifieste antes de la adolescencia, por lo que la edad puede considerarse como factor de riesgo. Esta variable se obtendrá de la anamnesis. Se manejaría de la forma en que se hizo en el glaucoma (3.2.12); sin embargo, como se toman los casos a partir de los 18 años, se convierte en una variable *bivalente* (figura 72), por lo que entonces puede discriminarse. En caso de que fuera tomada en cuenta tendríamos lo siguiente:

Variable lingüística: Mayor de edad que abreviándolo quedaría como MayEdad.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

Esta variable tiene un grado menor de importancia (80), según lo señalado por la oftalmóloga.

3.5.7 Tipo de Visión

Se refiere a que los pacientes de retinosis pigmentaria pierden progresivamente el campo visual hasta formar una visión en túnel., es decir, pierden la visión periférica. A esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F), es obtenida por anamnesis e indica si el paciente tiene o no visión de túnel; tiene una partición con la función de tipo *Singleton* (figura 72). Es catalogada de importancia media-alta con un valor de 80. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Visión en forma de túnel que abreviaremos como VisTun.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.8 Bilateral

Variable *bivalente* (V/F) con una partición como la que se muestra en la figura 72, se obtiene por anamnesis e indica si la persona tiene o no los síntomas en ambos ojos, ya que es muy raro que se encuentre un cuadro absolutamente compatible con retinosis pigmentaria en un solo ojo. Es catalogada con importancia de 80. En términos difusos nuestra variable quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Bilateral.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.9 Espículas

Se refiere a que es común que el paciente pueda desarrollar espículas (depósitos negros irregulares de pigmento arracimado), en la porción periférica de la retina. La variable únicamente indicará si el paciente presenta espículas o no (por lo que tiene una partición como la de la figura 72) y se obtendrá mediante el análisis de imagen con una importancia de 75. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Espículas que abreviaremos como Espicu.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.10 Región de espículas

La región en donde aparecen las espículas es en la porción periférica de la retina, por lo que se tomará la cercanía de la espícula al centro de la mácula que se encarga de la visión central. Se obtiene a partir del análisis de las imágenes y tiene un valor de importancia media-alta con un valor de 75. En esta variable se considerarán tres niveles de particiones: *muy cercana* se considerará toda espícula que se encuentre en un radio de 0 a 7500 micras; se considerará como *cercana* si la espícula está en un radio de 6500 a 10000 micras y finalmente se considerará *lejana* toda espícula que se encuentre a lo menos 9000 micras; la distancia en todos los niveles es a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de espículas que abreviaremos como RegEspí.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercana, cercana, lejana}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 12700] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

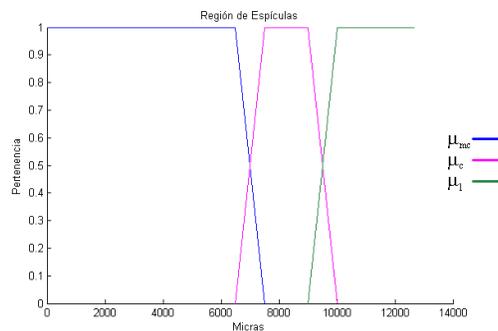


Fig. 73 Particiones para la variable RegEspí con funciones de tipo trapezoidal.

3.5.11 Dibujo reticular ramificado

La pigmentación retiniana se distribuye formando un dibujo reticular ramificado; en consecuencia, es prudente considerar si el paciente presenta o no este dibujo. A esta variable que se obtiene por análisis de imágenes la consideraremos *bivalente* (V/F), por lo que usará la función *Singleton* (figura 72). Esta variable tiene un grado de importancia de 75. Al fusificar nuestra variable tenemos que:

Variable lingüística: Dibujo reticular ramificado que abreviaremos como DibuReti.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.12 Sordera

Se considera como variable, ya que eventualmente los pacientes de retinosis pigmentaria sufren sordera. Por lo tanto, esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F) con una sola partición como la mostrada en la figura 72, es obtenida por anamnesis y simplemente indica si el paciente tiene sordera o no. Es catalogada de importancia media-alta para la determinación de la retinosis pigmentaria, con un valor de importancia de 70. En términos difusos se tiene que:

Variable lingüística: Sordera.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.13 Trastornos endocrinos

Variable *bivalente* (V/F) que puede ser fusificada (figura 72); es obtenida por anamnesis e indica si la persona sufre de trastornos endocrinos. Es catalogada con importancia media (50). De forma difusa tenemos:

Variable lingüística: Trastornos endocrinos que abreviaremos como TrasEndo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.14 Palidez de la papila óptica

Esta variable es *bivalente*, se obtiene a través del análisis de imágenes y se refiere a que si hay palidez en la papila óptica y los vasos retinianos no se distinguen bien. Tiene un grado medio de importancia bajo (valor 25 asignado por la oftalmóloga). Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 72). En términos difusos esta variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Palidez de la papila óptica que abreviaremos como PaPaO.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.15 Fumar

Variable *bivalente* (V/F) que puede ser fusificada (figura 72); es obtenida por anamnesis e indica si la persona es fumadora. Es catalogada con importancia baja (10). De forma difusa tenemos:

Variable lingüística: Fuma.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.16 Tomar

Variable *bivalente* (V/F) fusificada (figura 72); es obtenida por anamnesis e indica si la persona es tomadora. Es catalogada con importancia baja (10). De forma difusa tenemos:

Variable lingüística: Toma.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.5.17 Estrés

Esta variable es *bivalente*, se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a que si el paciente se encuentra frecuentemente bajo estrés. Tiene un grado bajo de importancia (valor 10 asignado por la oftalmóloga), debido a que parece acelerar la enfermedad, aunque no se han realizado estudios concluyentes. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 72). En términos difusos esta variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Estrés.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

En un futuro, cuando el subsistema sea integrado al proyecto final, se considerarán como datos a preguntar a los sujetos las siguientes variables que saldrán de las preguntas al confeccionar la historia clínica:

- Familia con retinosis pigmentaria
- Pérdida de bastones y conos
- Proliferación del epitelio
- Ceguera nocturna
- Deslumbramiento
- Edad
- Tipo de visión
- Bilateral
- Sordera
- Trastornos endocrinos
- Fuma
- Toma
- Estrés

Además, las variables que se enlistan a continuación se consideran que son resultado del análisis de las imágenes oftalmoscópicas:

- Espículas
- Región de espículas
- Dibujo reticular ramificado
- Palidez de la papila óptica

3.5.18 Metodología

Una vez que se han definido todas y cada una de las variables en términos de la lógica difusa para esta enfermedad, los pasos a seguir en la metodología son los mismos que los de las enfermedades antes ya descritas; lo único que cambia son las variables a evaluar en cada paso.

El primer paso consiste en definir las particiones correspondientes a las variables de salida; en nuestro caso sólo una es exactamente la misma que en el caso de todas las anteriores (el Porcentaje de la Enfermedad), con sus tres particiones, cada una con su función de tipo trapezoidal (figura 63).

Elegiremos las reglas de tipo Mamdani (ecuación 25). Se ha de definir la base de reglas, las cuales asociarán a cada una de las posibles combinaciones de las entradas un valor de salida. Para esto haremos uso de la(s) memoria(s) asociativa(s) difusa(s) o FAM (*Fuzzy Associative Memory*), como la de la Tabla X. Se crea una FAM con cada una de las combinaciones que puede hacerse con las variables de esta enfermedad, sin repetir ninguna combinación. En el apéndice A se muestran las FAM para esta enfermedad.

Una vez desarrollada la base de reglas difusas, utilizaremos el sistema descrito en la ecuación 44, es decir, un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros (ecuación 39), implicación difusa por la regla del mínimo (ecuaciones 28 y 34) y fusificador tipo *Singleton*.

La metodología es exactamente la misma que la expuesta para las otras enfermedades: al final se calcula el valor de la salida (PorcenEnfer), que es una media ponderada de los centros de gravedad de los conjuntos de salida correspondientes a cada regla, es decir, obtenemos un valor numérico que ubicaremos dentro de los rangos de cada conjunto clásico ya antes mencionado, obteniéndose así el prediagnóstico.

3.6 Módulo degeneración macular dependiente de la edad

Al igual que con todas las enfermedades anteriores, se investigó sobre la degeneración macular dependiente de la edad (DMDE). En principio, se tenían 20 factores de riesgo (variables), las cuales fueron revisadas por la especialista para decidir los rangos normales de cada una de ellas, definir cuáles deberían considerarse y con qué grado de importancia. A continuación se muestra una tabla donde podemos observar la información que fue proporcionada por la oftalmóloga para las 13 variables que se determinó considerar:

Nº	Nombre	Valor o rango normal	Importancia (de 0 a 100)
1	Tipo de visión	Normal	100
2	Pérdida de distinción de colores	No	100
3	Drusas		100
4	Región de las drusas		100
5	Región de las hemorragias		100
6	Edad	<60	80
7	Necesidad de más luz	No	80
8	Género	N/A	80
9	Ojos de color claro	N/A	75
10	Fuma	No	50
11	Hemorragias subretinianas		50
12	Exudados		10
13	Región de exudados		10

Las variables que finalmente se tomaran en cuenta han de ser fusificadas, por lo que el siguiente paso es determinar sus particiones así como las funciones de membresía para cada una de ellas. Principalmente se utilizan dos tipos de funciones de membresía: la tipo *Singleton* y la tipo trapezoidal. Para fines prácticos las variables que son bivalentes en esta enfermedad tendrán una partición como la de la figura 74, que utiliza la función de membresía tipo *Singleton*, con la única excepción que es la variable género.

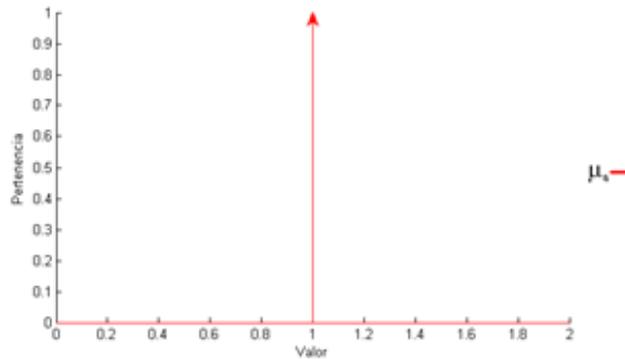


Fig. 74 Partición para las variables bivalentes de la DMDE con función de tipo *Singleton*.

A continuación se describen brevemente las variables, su rango y la forma en que se han fusificado.

3.6.1 Tipo de visión

Se refiere a que en los pacientes de DMDE, se reduce la visión de la parte central de la retina, por lo que este trastorno de la vista destruye la visión central y la posibilidad de ver los detalles de las imágenes. Uno de los primeros signos de la DMDE es que las líneas rectas parecen onduladas. A esta variable la consideraremos *bivalente* (V/F) con una partición como la mostrada en la figura 74; es obtenida por anamnesis e indica si el paciente tiene o no pérdida de visión central. Es catalogada de alta importancia con un valor de 100. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Visión borrosa al centro, que abreviaremos como VisBorCe.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.2 Pérdida de distinción de colores

Se refiere a que los pacientes de DMDE presentan dificultad de ver a distancia y se pierde poco a poco la habilidad de distinguir los colores. A esta variable la consideraremos *bivalente*, por lo que al igual que la anterior, tomará el valor de membresía 1 cuando sea Verdadera y de membresía 0 en cualquier otro caso (figura 74). Se obtendrá por anamnesis. Es catalogada de alta importancia para la determinación de la DMDE, con un valor de 100. De forma difusa podemos poner a la variable de la siguiente manera:

Variable lingüística: Pérdida de distinción de colores, que abreviaremos como PerDiCol.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.3 Drusas

Se refiere a una de las primeras señales más comunes de la DMDE (las drusas). Las drusas son depósitos amarillos debajo de la retina. El valor de esta variable se obtendrá del análisis de la imagen oftalmoscópica de fondo de ojo de la retina y cabe mencionar que es *bivalente*. Tiene un grado de importancia asignado por la oftalmóloga de 100. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 74). En términos difusos la variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Drusas.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.4 Región de las drusas

Variable que se obtiene por el análisis de las imágenes; por lo tanto, puede tomar tanto valores *numéricos* como *cadena*s de texto. Se refiere a la región en donde aparecen las drusas; sin embargo, la importancia radica en la cercanía de las drusas a la mácula. Se sabe que entre más cercanas estén las drusas de la mácula, es mayor el riesgo. En consecuencia, se considerarán tres niveles: como *muy cercana* cuando alguna drusa se encuentre en un radio de 0 a 400 micras a partir del centro de la mácula; se considerará una drusa como *cercana* si se encuentra en un radio de 250 a 650 micras; finalmente, se considera *lejana* aquella drusa que se encuentre por lo menos a 500 micras de distancia a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de drusas que abreviaremos como RegDrusa.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercana, cercana, lejana}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

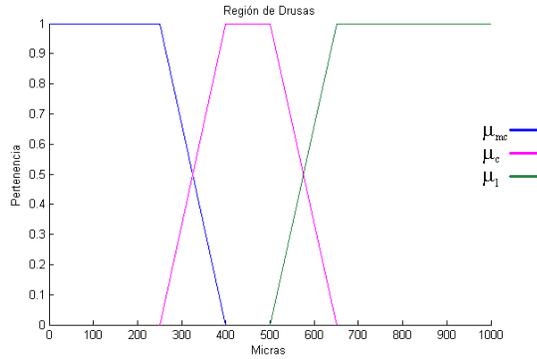


Fig. 75 Particiones para la variable *RegDrusa* con funciones de tipo trapezoidal.

Cabe mencionar que tiene un grado de importancia alto (100), según lo señalado por la oftalmóloga.

3.6.5 Región de hemorragias

La importancia de esta variable radica en la cercanía de las hemorragias a la mácula, como en el caso de la variable anterior. Entre más cerca estén, mayor será el riesgo. Se obtiene a partir del análisis de las imágenes y tiene una importancia de 100. En esta variable se considerarán tres niveles, como en la anterior, y con las mismas particiones: *muy cercana* se considerará toda hemorragia que se encuentre en un radio de 0 a 450 micras; como *cercana* si la hemorragia está en un radio de 300 a 750 micras y finalmente se considera *lejana* toda hemorragia que se encuentre a más de 600 micras; la distancia en todos los niveles es a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de las hemorragias, que abreviaremos como RegHemo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercana, cercana, lejana}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

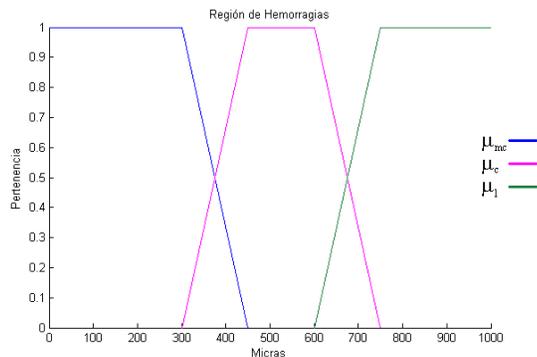


Fig. 76 Particiones para la variable *RegHemo* con funciones de tipo trapezoidal.

3.6.6 Edad

La DMDE es una enfermedad degenerativa que afecta al centro de la retina en personas mayores de 60 años. Esta variable se obtendrá de la anamnesis y puede ser fusificable, por lo que puede tomar valores *numéricos* (la edad) o *cadena*s. Se manejará la edad con los siguientes términos: para una persona que tiene entre 18 y 45 años se le considerará como *adulto joven*; para aquellos que su edad caiga en el rango de 35 a 75 hablaremos de un *adulto maduro*; y finalmente el paciente se considerará un *anciano* cuando su edad sobrepase los 65 años. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Edad.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {adulto joven, adulto maduro, anciano}; que de manera abreviada queda como {aj, am, a}.

El universo de discurso: [18, 120] años.

Funciones de membresía: $\{\mu_{aj}(t), \mu_{am}(t), \mu_a(t)\}$

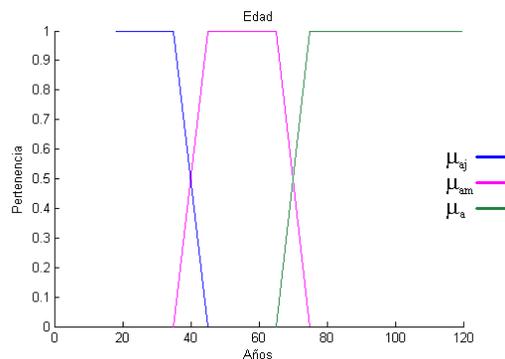


Fig. 77 Particiones para la variable Edad con funciones de tipo trapezoidal.

Esta variable tiene un grado considerable de importancia (80), según lo señalado por la oftalmóloga.

3.6.7 Necesidad de más luz

Esta variable es *bivalente* (puede tomar solo dos valores), se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a si nuestro paciente necesita más luz para leer y para realizar otras tareas. Tiene una importancia considerable (valor de 80 asignado por la oftalmóloga). La forma en que puede ser fusificada es mediante la función de membresía de tipo *Singleton* (figura 74), la que representaría únicamente una partición con solamente dos valores (0 y 1). En términos difusos quedaría como se muestra a continuación:

Variable lingüística: Necesidad de más luz, que abreviaremos como NeMaLuz.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: $[0, 1]$.

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.8 Género

Esta variable es *bivalente* (puede tomar solo dos valores); sin embargo, esta vez no será entre falso y verdadero, sino entre masculino (con el valor de 1) y femenino (con el valor de 2), se obtiene a través de la anamnesis y se refiere al género del paciente, ya que las mujeres corren mayor riesgo que los hombres de tenerla. Tiene un grado considerable de importancia (valor 80 asignado por la oftalmóloga). Será fusificada con 2 funciones de membresía de tipo *Singleton*. En términos difusos esta variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Género.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {masculino, femenino}; que de manera abreviada queda como {m, f}.

El universo de discurso: $[1,2]$.

Funciones de membresía: $\{\mu_m(t), \mu_f(t)\}$

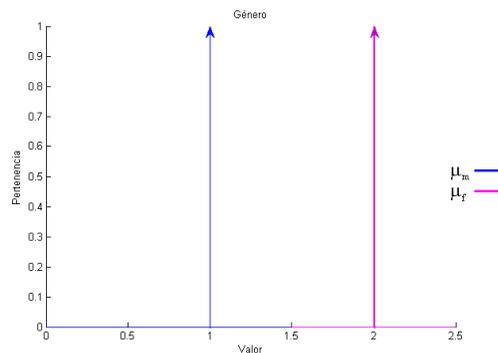


Fig. 78 Particiones para la variable Género con funciones de tipo *Singleton*.

3.6.9 Ojos de color claro

Esta variable es *bivalente*, se obtiene a través de la anamnesis y se refiere a que si nuestro paciente tiene ojos de color claro o no. Tiene un grado considerable de importancia (valor 75 asignado por la oftalmóloga), debido a que existe mayor frecuencia de esta patología en pacientes con ojos de color claro. Será fusificada con función de membresía de tipo *Singleton* (figura 74). En términos difusos esta variable queda de la siguiente manera:

Variable lingüística: Ojos de color claro que abreviaremos como OColCla.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.10 Fumar

Variable *bivalente* (V/F) que puede ser fusificada (figura 74); es obtenida por anamnesis e indica si la persona es fumadora. Es catalogada con importancia media (50). De forma difusa tenemos:

Variable lingüística: Fuma.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.11 Hemorragias

Se refiere a que es común que el paciente pueda desarrollar hemorragias subretinianas. Esto ocurre en la DMDE exudativa. La variable únicamente indicará si el paciente presenta o no hemorragias, es decir, es una variable *bivalente* (figura 74) y se obtendrá mediante el análisis de imagen con una importancia de 50. En términos difusos tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Hemorragias que abreviaremos como Hemo.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.12 Exudados duros

Variable *bivalente* (V/F) con partición como la que se muestra en la figura 74, es obtenida por el análisis de imágenes e indica si la persona tiene o no exudados duros (depósitos pálidos y grasosos). Es catalogada con importancia baja: 10.

Variable lingüística: Exudados duros que abreviaremos como ExuDur.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {aplica}; que de manera abreviada queda como {a}.

El universo de discurso: [0, 1].

Funciones de membresía: $\{\mu_a(t)\}$

3.6.13 Región de exudados duros

Se refiere a la región en donde aparecen los exudados duros. Al igual que en el caso de las hemorragias, la importancia radica en la cercanía a la mácula (con un 10 de importancia según el criterio de la oftalmóloga). Se obtiene a partir del análisis de las imágenes. En esta variable se considerarán tres niveles con funciones de tipo trapezoidal: como *muy cercano* todo exudado duro cuyo centroide se encuentre en un radio de 0 a 450 micras a partir del centro de la mácula; se considerará un exudado duro como *cercano* si se encuentra en un radio de 300 a 750 micras; finalmente se considerará *lejano* el exudado cuyo centroide se encuentre a más de 600 micras de distancia a partir del centro de la mácula. De forma difusa tenemos lo siguiente:

Variable lingüística: Región de exudado duro que abreviaremos como RegExuD.

Conjunto de términos que puede tomar la variable lingüística: {muy cercano, cercano, lejano}; que de manera abreviada queda como {mc, c, l}.

El universo de discurso: [0, 1000] micras.

Funciones de membresía: $\{\mu_{mc}(t), \mu_c(t), \mu_l(t)\}$

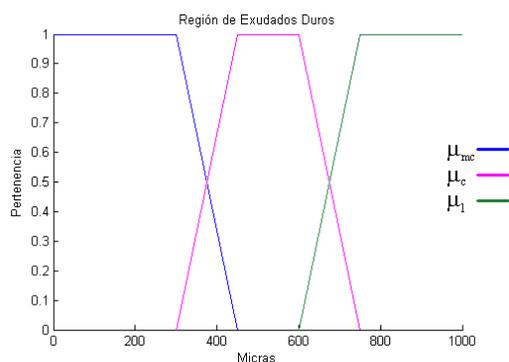


Fig. 79 Particiones para la variable RegExuD con funciones de tipo trapezoidal.

En un futuro, cuando el subsistema sea integrado al proyecto final, se considerarán como datos a preguntar a los sujetos, las siguientes variables que saldrán de las preguntas al confeccionar la historia clínica:

- Tipo de visión
- Pérdida de distinción de colores
- Edad
- Necesidad de más luz

- Género
- Ojos de color claro
- Fuma

Además, las variables que se enlistan a continuación se consideran que son resultado del análisis de las imágenes oftalmoscópicas:

- Drusas
- Región de las drusas
- Región de las hemorragias
- Hemorragias
- Exudados duros
- Región de los exudados duros

3.6.14 Metodología

Hasta ahora se han definido todas y cada una de las variables en términos de la lógica difusa para esta enfermedad. Los pasos a seguir en la metodología son los mismos que los de las otras 4 enfermedades; lo único que cambia son las variables a evaluar en cada paso.

El primer paso consiste en definir las particiones correspondientes a las variables de salida; en nuestro caso sólo una (el Porcentaje de la Enfermedad), con sus tres particiones, cada una con su función de tipo trapezoidal (figura 63).

Elegiremos las reglas de tipo Mamdani que asociarán a cada una de las posibles combinaciones de las entradas un valor de salida. Para esto haremos uso de la(s) memoria(s) asociativa(s) difusa(s) o FAM (*Fuzzy Associative Memory*), como la de la Tabla X. Se crea una FAM con cada una de las combinaciones que puede hacerse con las variables de esta enfermedad, sin repetir ninguna combinación. En el apéndice A se muestran las FAM para esta enfermedad.

Una vez desarrollada la base de reglas difusas, utilizaremos el sistema descrito en la ecuación 44 (un sistema de lógica difusa con defusificador por media de centros, implicación difusa por la regla del mínimo y fusificador tipo *Singleton*).

La metodología es exactamente la misma que la expuesta para el glaucoma: al final se calcula el valor de la salida, siguiendo el procedimiento de la media de centros (ecuación 44) obteniendo como resultado la salida PorcenEnfer, que es una media ponderada de los centros de gravedad de los conjuntos de salida correspondientes a cada regla, es decir, para cada enfermedad obtendremos un valor numérico que ubicaremos dentro de los rangos de cada conjunto clásico ya antes mencionado, obteniéndose así el prediagnóstico.

Nota: Es importante dejar en claro que por el momento, al no tener acceso a pacientes reales de cada una de las enfermedades, todas las variables serán simuladas.

3.7 Descripción breve y general de la interfaz gráfica

Consta de una pantalla principal donde únicamente se muestra un menú (*Clinic History*) con la opción de nuevo (*new*), en donde al acceder a él podremos crear una nueva historia clínica de nuestro paciente a prediagnosticar (Figura 80).

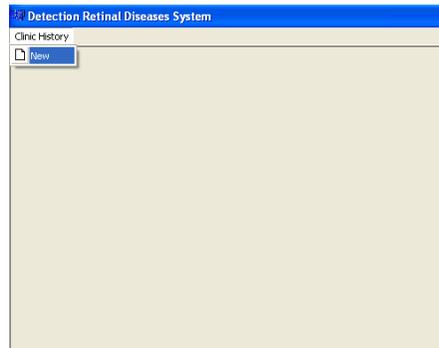


Fig. 80 Menú *Clinic History* ->*New*.

Al crear una nueva historia clínica se mostrará una pantalla como la que se muestra en la figura 81. Esta pantalla mostrará todos los factores de riesgo de todas las enfermedades; sin distinción. Los factores de riesgo están clasificados por su fuente (anamnesis, análisis de imágenes y mediciones).

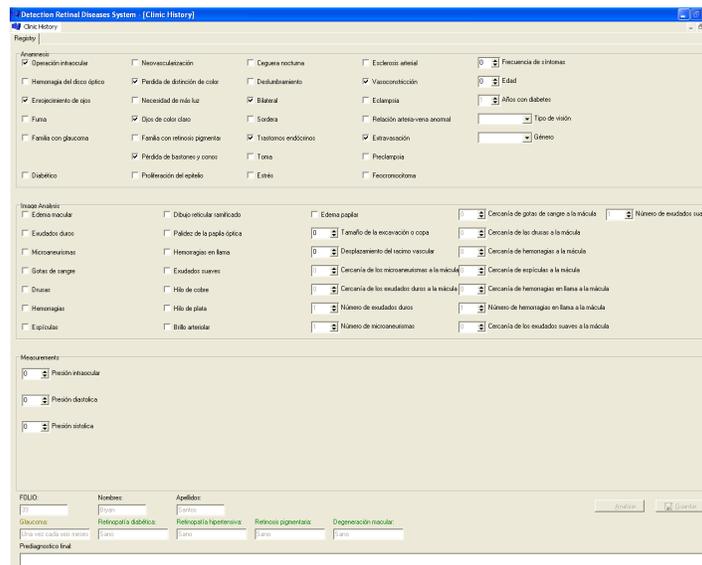


Fig. 81 Pantalla de Historia clínica.

El usuario del sistema tendrá que llenar la historia clínica y después será necesario introducir los nombres y apellidos del paciente para que se habilite el botón de guardar. Después de haber guardado la información al dar *click* en guardar, se habilitará el botón de analizar. Al dar *click* en este último botón, dará como resultado el prediagnóstico para cada enfermedad que se mostrará en la parte inferior de la pantalla. Cuenta con un código de colores, ya que se pone el nombre de la enfermedad en verde si el paciente es sano, en amarillo si debe acudir al oftalmólogo una vez cada seis meses y finalmente en rojo si debe acudir urgentemente.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se evalúan los resultados que arroja el análisis de toda la gama de variables que se necesitan para brindar el prediagnóstico de las cinco enfermedades. El resultado es individual, es decir, se da un prediagnóstico por cada enfermedad. A su vez, en cada enfermedad tenemos tres casos reales, los demás son basándonos en los reales, pero han sido revisados por la especialista.

Se ejemplifican mediante tablas donde se muestran los valores que se le asignaron a cada variable y al final se brinda el prediagnóstico por cada enfermedad.

4.1 Resultado del módulo glaucoma

A continuación se muestran diferentes casos que podrían tener glaucoma; para fines prácticos analizaremos únicamente las variables que participan en la determinación del glaucoma, arrojando como resultado final el prediagnóstico (**Sano**, **Una vez cada seis meses** y **Urgentemente**).

Casos reales.

TABLA XV Caso 1 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	Si
Presión intraocular	60 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	1200 micras
Desplazamiento de vasos	600 micras
Hemorragia del disco óptico	Si
Enrojecimiento de ojos	Si
Fuma	Si
Frecuencia de síntomas	30 días por mes
Familia con glaucoma	Si
Tipo de visión	Túnel
Edad	80 años

Prediagnóstico:

Urgentemente

TABLA XVI Caso 2 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	No
Presión intraocular	25 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	750 micras
Desplazamiento de vasos	375 micras
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	Si
Fuma	Si
Frecuencia de síntomas	
Familia con glaucoma	No
Tipo de visión	
Edad	30 años

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA XVII Caso 3 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	No
Presión intraocular	17
Tamaño de la excavación o copa	450
Desplazamiento de vasos	
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	Si
Fuma	Si
Frecuencia de síntomas	
Familia con glaucoma	No
Tipo de visión	
Edad	45 años

Prediagnóstico:
Sano

De los tres casos analizados, los tres fueron exitosamente diagnosticados por nuestro sistema.

Casos basados en los reales.

TABLA XVIII Caso 4 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	No
Presión intraocular	10 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	
Desplazamiento de vasos	
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	Si
Fuma	No
Frecuencia de síntomas	
Familia con glaucoma	No
Tipo de visión	
Edad	40 años

Prediagnóstico:
Sano

TABLA XIX Caso 5 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	No
Presión intraocular	23 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	600 micras
Desplazamiento de vasos	300 micras
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	Si
Fuma	No
Frecuencia de síntomas	
Familia con glaucoma	No
Tipo de visión	
Edad	50 años

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA XX Caso 6 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	Si
Presión intraocular	19 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	400 micras
Desplazamiento de vasos	200 micras
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	No
Fuma	No
Frecuencia de síntomas	5
Familia con glaucoma	Si
Tipo de visión	
Edad	60 años

Prediagnóstico:
Sano

TABLA XXI Caso 7 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	No
Presión intraocular	14 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	
Desplazamiento de vasos	
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	No
Fuma	Si
Frecuencia de síntomas	
Familia con glaucoma	No
Tipo de visión	
Edad	80 años

Prediagnóstico:
Sano

TABLA XXII Caso 8 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	Si
Presión intraocular	45 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	800
Desplazamiento de vasos	400
Hemorragia del disco óptico	Si
Enrojecimiento de ojos	Si
Fuma	No
Frecuencia de síntomas	
Familia con glaucoma	No
Tipo de visión	
Edad	85 años

Prediagnóstico:
*Una vez cada seis meses

* Debería ser urgentemente por la hemorragia del disco óptico.

TABLA XXIII Caso 9 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	No
Presión intraocular	20 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	500
Desplazamiento de vasos	250
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	No
Fuma	Si
Frecuencia de síntomas	2
Familia con glaucoma	Si
Tipo de visión	
Edad	50 años

Prediagnóstico:
*Una vez cada seis meses

* Debería ser sano ya que los valores son bastante normales.

TABLA XXIV Caso 10 de Glaucoma	
Nombre	Valor
Operación intraocular	No
Presión intraocular	10 mm Hg
Tamaño de la excavación o copa	
Desplazamiento de vasos	
Hemorragia del disco óptico	No
Enrojecimiento de ojos	No
Fuma	Si
Frecuencia de síntomas	
Familia con glaucoma	Si
Tipo de visión	
Edad	18 años

Prediagnóstico:
Sano

Se proponen siete casos más para esta enfermedad, en los cuales bajó la certeza de diagnóstico del sistema fallando con el prediagnóstico en dos casos.

4.2 Resultado del módulo retinopatía diabética

A continuación se muestra el resultado (el prediagnóstico en sus tres niveles: **Sano**, **Una vez cada seis meses** y **Urgentemente**) para el análisis de las variables de retinopatía diabética.

Casos reales.

TABLA XXV Caso 1 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	Si
Edema macular	Si
Años con diabetes	15
Región de microaneurismas	10 micras alejado de la mácula
Exudados duros	Si
Lugar de los exudados duros	20 micras alejado de la mácula
Número de exudados duros	70
Tipo de visión	Con manchas de sangre
Microaneurismas	Si
Número de microaneurismas	40
Gotas de sangre	Si
Lugar de las gotas de sangre	50 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico: **Urgentemente**

TABLA XXVI Caso 2 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	5
Región de microaneurismas	1000 micras alejado de la mácula
Exudados duros	Si
Lugar de los exudados duros	1000 micras alejado de la mácula
Número de exudados duros	1
Tipo de visión	
Microaneurismas	Si
Número de microaneurismas	5
Gotas de sangre	Si
Lugar de las gotas de sangre	1000 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico: **Una vez cada seis meses**

TABLA XXVII Caso 3 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	5
Región de microaneurismas	
Exudados duros	No
Lugar de los exudados duros	
Número de exudados duros	
Tipo de visión	
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	No
Lugar de las gotas de sangre	
Prediagnóstico: Sano	

Se tuvo un alto grado de certeza en el prediagnóstico de los tres casos reales, ya que de los tres que se propusieron se tuvo una efectividad de 100%.

Casos basados en los reales.

TABLA XXVIII Caso 4 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	15
Región de microaneurismas	
Exudados duros	No
Lugar de los exudados duros	
Número de exudados duros	
Tipo de visión	Con manchas de sangre
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	Si
Lugar de las gotas de sangre	750 micras alejado de la mácula
Prediagnóstico: *Una vez cada seis meses	

* Debería ser urgentemente por la visión con manchas de sangre.

TABLA XXIX Caso 5 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	5
Región de microaneurismas	
Exudados duros	No
Lugar de los exudados duros	
Número de exudados duros	
Tipo de visión	Manchas de sangre
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	No
Lugar de las gotas de sangre	
Prediagnóstico: *Una vez cada seis meses	

* Debería ser urgentemente por la hemorragia del disco óptico.

TABLA XXX Caso 6 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	1
Región de microaneurismas	
Exudados duros	Si
Lugar de los exudados duros	800 micras alejado de la mácula
Número de exudados duros	10
Tipo de visión	
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	No
Lugar de las gotas de sangre	

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA XXXI Caso 7 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	3
Región de microaneurismas	
Exudados duros	No
Lugar de los exudados duros	
Número de exudados duros	
Tipo de visión	
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	No
Lugar de las gotas de sangre	

Prediagnóstico:
Sano

TABLA XXXII Caso 8 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	No
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	
Región de microaneurismas	
Exudados duros	No
Lugar de los exudados duros	
Número de exudados duros	
Tipo de visión	
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	No
Lugar de las gotas de sangre	

Prediagnóstico:
Sano

TABLA XXXIII Caso 9 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	No
Edema macular	No
Años con diabetes	10
Región de microaneurismas	
Exudados duros	Si
Lugar de los exudados duros	800 micras alejado de la mácula
Número de exudados duros	15
Tipo de visión	
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	No
Lugar de las gotas de sangre	

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA XXXIV Caso 10 de Retinopatía Diabética	
Nombre	Valor
Diabético	Si
Neovascularización	Si
Edema macular	Si
Años con diabetes	
Región de microaneurismas	
Exudados duros	No
Lugar de los exudados duros	
Número de exudados duros	
Tipo de visión	
Microaneurismas	No
Número de microaneurismas	
Gotas de sangre	No
Lugar de las gotas de sangre	

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

La certeza del diagnóstico en los casos que son basados en los reales disminuyó, ya que de siete casos presentados se falló en dos en el prediagnóstico.

4.3 Resultado del módulo retinopatía hipertensiva

A continuación se muestran diferentes casos de pacientes que analizaremos de esta enfermedad, arrojando como resultado final el prediagnóstico (**Sano**, **Una vez cada seis meses** y **Urgentemente**).

Casos reales.

TABLA XXXV Caso 1 de Retinopatía Hipertensiva		
Nombre	Valor	
Hipertenso	Sí	
Esclerosis arterial	Sí	
Vasoconstricción	Sí	
Eclampsia	Sí	
Relación arteria – vena anormal	Sí	
Extravasación	Sí	
Región de hemorragias en llama	10	
Hemorragias en llama	Sí	
Número de hemorragias en llama	10	
Preeclampsia	No	
Feocromocitoma	No	
Exudados suaves	Sí	
Número de exudados suaves	70	
Exudados duros	Sí	
Número de exudados duros	50	
Región de exudados duros	20	
Hilo de cobre	No	
Hilo de plata	Sí	
Región de exudados suaves	30	
Tipo de visión	Borrosa	
Edema macular	Sí	
Brillo arteriolar	Sí	Prediagnóstico
Edema papilar	Sí	*Una vez cada seis meses

* Debería ser urgentemente porque presenta prácticamente todos los factores de riesgo.

TABLA XXXVI Caso 2 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	Si
Vasoconstricción	Si
Eclampsia	No
Relación arteria – vena anormal	No
Extravasación	No
Región de hemorragias en llama	
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	
Preeclampsia	No
Feocromocitoma	No
Exudados suaves	No
Número de exudados suaves	No
Exudados duros	No
Número de exudados duros	No
Región de exudados duros	No
Hilo de cobre	Si
Hilo de plata	
Región de exudados suaves	
Tipo de visión	Borrosa
Edema macular	No
Brillo arteriolar	No
Edema papilar	No

Prediagnóstico
Una vez cada seis meses

TABLA XXXVII Caso 3 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	No
Vasoconstricción	No
Eclampsia	No
Relación arteria – vena anormal	No
Extravasación	No
Región de hemorragias en llama	No
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	No
Preeclampsia	No
Feocromocitoma	No
Exudados suaves	No
Número de exudados suaves	No
Exudados duros	No
Número de exudados duros	
Región de exudados duros	
Hilo de cobre	No
Hilo de plata	No
Región de exudados suaves	No
Tipo de visión	Normal
Edema macular	No
Brillo arteriolar	No
Edema papilar	

Prediagnóstico
Sano

La certeza del sistema disminuye con los casos reales en esta enfermedad, con solo dos aciertos de tres.

Casos basados en los reales.

TABLA XXXVIII Caso 4 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	Si
Vasoconstricción	No
Eclampsia	Si
Relación arteria – vena anormal	No
Extravasación	No
Región de hemorragias en llama	
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	
Preeclampsia	No
Feocromocitoma	No
Exudados suaves	No
Número de exudados suaves	No
Exudados duros	No
Número de exudados duros	No
Región de exudados duros	No
Hilo de cobre	Si
Hilo de plata	
Región de exudados suaves	
Tipo de visión	Borrosa
Edema macular	No
Brillo arteriolar	Si
Edema papilar	No

Prediagnóstico
Una vez cada seis meses

TABLA XXXIX Caso 5 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	No
Vasoconstricción	No
Eclampsia	No
Relación arteria – vena anormal	Si
Extravasación	Si
Región de hemorragias en llama	
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	
Preeclampsia	Si
Feocromocitoma	No
Exudados suaves	No
Número de exudados suaves	No
Exudados duros	No
Número de exudados duros	No
Región de exudados duros	No
Hilo de cobre	Si
Hilo de plata	
Región de exudados suaves	
Tipo de visión	
Edema macular	Si
Brillo arteriolar	No
Edema papilar	No

Prediagnóstico
Una vez cada seis meses

TABLA XL Caso 6 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	No
Vasoconstricción	No
Eclampsia	No
Relación arteria – vena anormal	No
Extravasación	No
Región de hemorragias en llama	
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	
Preeclampsia	No
Feocromocitoma	No
Exudados suaves	Si
Número de exudados suaves	50
Exudados duros	No
Número de exudados duros	No
Región de exudados duros	No
Hilo de cobre	Si
Hilo de plata	
Región de exudados suaves	600 micras
Tipo de visión	Borrosa
Edema macular	No
Brillo arteriolar	No
Edema papilar	No

Prediagnóstico
Una vez cada seis meses

TABLA XLI Caso 7 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	Si
Vasoconstricción	Si
Eclampsia	Si
Relación arteria – vena anormal	Si
Extravasación	Si
Región de hemorragias en llama	10
Hemorragias en llama	Si
Número de hemorragias en llama	20
Preeclampsia	No
Feocromocitoma	Si
Exudados suaves	Si
Número de exudados suaves	80
Exudados duros	Si
Número de exudados duros	60
Región de exudados duros	20
Hilo de cobre	No
Hilo de plata	Si
Región de exudados suaves	30
Tipo de visión	Borrosa
Edema macular	Si
Brillo arteriolar	Si
Edema papilar	Si

Prediagnóstico
*Una vez cada seis meses

* Debería ser urgentemente porque presenta prácticamente todos los factores de riesgo.

TABLA XLII Caso 8 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	No
Vasoconstricción	No
Eclampsia	Si
Relación arteria – vena anormal	No
Extravasación	No
Región de hemorragias en llama	No
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	No
Preeclampsia	No
Feocromocitoma	Sí
Exudados suaves	No
Número de exudados suaves	No
Exudados duros	No
Número de exudados duros	
Región de exudados duros	
Hilo de cobre	No
Hilo de plata	No
Región de exudados suaves	No
Tipo de visión	Normal
Edema macular	No
Brillo arteriolar	No
Edema papilar	

Prediagnóstico
Sano

TABLA XLIII Caso 9 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	No
Vasoconstricción	No
Eclampsia	No
Relación arteria – vena anormal	No
Extravasación	No
Región de hemorragias en llama	
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	
Preeclampsia	Sí
Feocromocitoma	Sí
Exudados suaves	Sí
Número de exudados suaves	5
Exudados duros	Sí
Número de exudados duros	10
Región de exudados duros	800
Hilo de cobre	Si
Hilo de plata	
Región de exudados suaves	750
Tipo de visión	Borrosa
Edema macular	No
Brillo arteriolar	No
Edema papilar	No

Prediagnóstico
Una vez cada seis meses

TABLA XLIV Caso 10 de Retinopatía Hipertensiva	
Nombre	Valor
Hipertenso	Si
Esclerosis arterial	No
Vasoconstricción	No
Eclampsia	No
Relación arteria – vena anormal	No
Extravasación	No
Región de hemorragias en llama	No
Hemorragias en llama	No
Número de hemorragias en llama	No
Preeclampsia	Sí
Feocromocitoma	No
Exudados suaves	No
Número de exudados suaves	No
Exudados duros	No
Número de exudados duros	
Región de exudados duros	
Hilo de cobre	No
Hilo de plata	No
Región de exudados suaves	No
Tipo de visión	Normal
Edema macular	No
Brillo arteriolar	No
Edema papilar	
	Prediagnóstico
	Sano

Con esta enfermedad el grado de certeza es considerable ya que de los siete casos propuestos únicamente en uno falla el prediagnóstico.

4.4 Resultado del módulo retinosis pigmentaria

A continuación se presentan los resultados para la enfermedad de la retinosis pigmentaria, que al igual que en las anteriores sólo se evalúan y se muestran en las tablas las variables que intervienen en la determinación del prediagnóstico en sus tres niveles, a saber, **Sano**, **Una vez cada seis meses** y **Urgentemente**.

Casos reales.

TABLA XLV Caso 1 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	Si	
Pérdida de bastones y conos	Si	
Proliferación del epitelio	Si	
Ceguera nocturna	Si	
Deslumbramiento	Si	
Mayor de edad	Si	
Visión de túnel	Si	
Bilateral	Si	
Espículas	Si	
Región de espículas	100	
Dibujo reticular ramificado	Si	
Sordera	Si	
Trastornos endocrinos	Si	
Palidez de la papila óptica	Si	
Fuma	Si	
Toma	Si	Prediagnóstico:
Estrés	Si	Urgentemente

TABLA XLVI Caso 2 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	Si	
Pérdida de bastones y conos	No	
Proliferación del epitelio	Si	
Ceguera nocturna	No	
Deslumbramiento	Si	
Mayor de edad	No	
Visión de túnel	No	
Bilateral	No	
Espículas	Si	
Región de espículas	100	
Dibujo reticular ramificado	No	
Sordera	Si	
Trastornos endocrinos	No	
Palidez de la papila óptica	Si	
Fuma	No	
Toma	Si	Prediagnóstico:
Estrés	No	Una vez cada seis meses

TABLA XLIX Caso 3 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	No	
Pérdida de bastones y conos	No	
Proliferación del epitelio	No	
Ceguera nocturna	Si	
Deslumbramiento	No	
Mayor de edad	No	
Visión de túnel	No	
Bilateral	Si	
Espículas	No	
Región de espículas		
Dibujo reticular ramificado	No	
Sordera	No	
Trastornos endocrinos	Si	
Palidez de la papila óptica	No	
Fuma	No	
Toma	No	
Estrés	Si	Prediagnóstico: Sano

De los tres casos analizados, los tres fueron exitosamente diagnosticados por nuestro sistema.

Casos basados en los reales.

TABLA XLVIII Caso 4 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	Si	
Pérdida de bastones y conos	Si	
Proliferación del epitelio	Si	
Ceguera nocturna	No	
Deslumbramiento	Si	
Mayor de edad	Si	
Visión de túnel	Si	
Bilateral	No	
Espículas	Si	
Región de espículas	400	
Dibujo reticular ramificado	Si	
Sordera	Si	
Trastornos endocrinos	No	
Palidez de la papila óptica	Si	
Fuma	Si	
Toma	Si	
Estrés	No	Prediagnóstico: *Una vez cada seis meses

*Debería ser urgentemente ya que presenta la mayoría de síntomas de más riesgo.

TABLA XLVII Caso 5 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	Si	
Pérdida de bastones y conos	Si	
Proliferación del epitelio	No	
Ceguera nocturna	Si	
Deslumbramiento	Si	
Mayor de edad	No	
Visión de túnel	No	
Bilateral	Si	
Espículas	Si	
Región de espículas	650	
Dibujo reticular ramificado	Si	
Sordera	Si	
Trastornos endocrinos	No	
Palidez de la papila óptica	Si	
Fuma	Si	
Toma	No	Prediagnóstico:
Estrés	Si	Una vez cada seis meses

TABLA L Caso 6 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	Si	
Pérdida de bastones y conos	Si	
Proliferación del epitelio	No	
Ceguera nocturna	No	
Deslumbramiento	No	
Mayor de edad	Si	
Visión de túnel	No	
Bilateral	No	
Espículas	Si	
Región de espículas	600	
Dibujo reticular ramificado	No	
Sordera	No	
Trastornos endocrinos	Si	
Palidez de la papila óptica	No	
Fuma	No	
Toma	Si	Prediagnóstico:
Estrés	No	Una vez cada seis meses

TABLA LI Caso 7 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	No	
Pérdida de bastones y conos	No	
Proliferación del epitelio	No	
Ceguera nocturna	Si	
Deslumbramiento	No	
Mayor de edad	Si	
Visión de túnel	No	
Bilateral	Si	
Espículas	No	
Región de espículas		
Dibujo reticular ramificado	Si	
Sordera	No	
Trastornos endocrinos	Si	
Palidez de la papila óptica	No	
Fuma	Si	
Toma	No	Prediagnóstico:
Estrés	Si	Una vez cada seis meses

TABLA LII Caso 8 de Retinosis Pigmentaria		
Nombre	Valor	
Familia con retinosis pigmentaria	No	
Pérdida de bastones y conos	No	
Proliferación del epitelio	No	
Ceguera nocturna	No	
Deslumbramiento	No	
Mayor de edad	No	
Visión de túnel	No	
Bilateral	No	
Espículas	No	
Región de espículas		
Dibujo reticular ramificado	No	
Sordera	No	
Trastornos endocrinos	No	
Palidez de la papila óptica	No	
Fuma	No	
Toma	No	Prediagnóstico:
Estrés	No	Sano

TABLA LVIII Caso 9 de Retinosis Pigmentaria	
Nombre	Valor
Familia con retinosis pigmentaria	Si
Pérdida de bastones y conos	No
Proliferación del epitelio	No
Ceguera nocturna	Si
Deslumbramiento	Si
Mayor de edad	No
Visión de túnel	Si
Bilateral	No
Espículas	No
Región de espículas	
Dibujo reticular ramificado	Si
Sordera	No
Trastornos endocrinos	No
Palidez de la papila óptica	Si
Fuma	No
Toma	No
Estrés	No

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA LIV Caso 10 de Retinosis Pigmentaria	
Nombre	Valor
Familia con retinosis pigmentaria	Si
Pérdida de bastones y conos	No
Proliferación del epitelio	Si
Ceguera nocturna	Si
Deslumbramiento	Si
Mayor de edad	Si
Visión de túnel	No
Bilateral	No
Espículas	Si
Región de espículas	500
Dibujo reticular ramificado	No
Sordera	No
Trastornos endocrinos	No
Palidez de la papila óptica	No
Fuma	Si
Toma	Si
Estrés	No

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

Se proponen siete casos más para esta enfermedad, en los cuales bajó la certeza de diagnóstico del sistema fallando con el prediagnóstico en un caso.

4.5 Resultado del módulo degeneración macular dependiente de la edad

Finalmente, analizaremos las variables de esta enfermedad que al igual que las anteriores el resultado será el prediagnóstico dado en tres niveles (**Sano**, **Una vez cada seis meses** y **Urgentemente**).

Casos reales.

TABLA LV Caso 1 de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	Borrosa al centro
Pérdida de distinción de colores	No
Drusas	Si
Región de las drusas	200 micras alejado de la mácula
Región de las hemorragias	
Edad	60 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Femenino
Ojos de color claro	Si
Fuma	Si
Hemorragias subretinianas	No
Exudados	Si
Región de exudados	800 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico: **Una vez cada seis meses**

TABLA LVI Caso 2 de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	Borrosa al centro
Pérdida de distinción de colores	Si
Drusas	Si
Región de las drusas	200 micras alejado de la mácula
Región de las hemorragias	300 micras alejado de la mácula
Edad	85 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Femenino
Ojos de color claro	Si
Fuma	Si
Hemorragias subretinianas	Si
Exudados	Si
Región de exudados	400 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico: **Urgentemente**

TABLA LX Caso 3 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	Borrosa al centro
Pérdida de distinción de colores	No
Drusas	No
Región de las drusas	
Región de las hemorragias	
Edad	55 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Femenino
Ojos de color claro	Si
Fuma	Si
Hemorragias subretinianas	No
Exudados	No
Región de exudados	

Prediagnóstico:
*Una vez cada seis meses

* Debería ser sano ya que los valores son bastante normales.

La certeza del sistema disminuye para los casos reales con esta enfermedad, ya que de los tres casos que se propusieron, el sistema acertó solo a dos.

Casos basados en los reales.

TABLA LVIII Caso 4 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	Borrosa al centro
Pérdida de distinción de colores	Si
Drusas	No
Región de las drusas	
Región de las hemorragias	
Edad	80 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Masculino
Ojos de color claro	No
Fuma	Si
Hemorragias subretinianas	No
Exudados	No
Región de exudados	

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA LIX Caso 5 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	Borrosa al centro
Pérdida de distinción de colores	Si
Drusas	No
Región de las drusas	
Región de las hemorragias	
Edad	80 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Femenino
Ojos de color claro	Si
Fuma	Si
Hemorragias subretinianas	No
Exudados	No
Región de exudados	

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA LVII Caso 6 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	Borrosa al centro
Pérdida de distinción de colores	Si
Drusas	Si
Región de las drusas	600 micras alejado de la mácula
Región de las hemorragias	
Edad	75 años
Necesidad de más luz	No
Género	
Ojos de color claro	No
Fuma	No
Hemorragias subretinianas	No
Exudados	No
Región de exudados	

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA LXI Caso 7 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	
Pérdida de distinción de colores	No
Drusas	Si
Región de las drusas	400 micras alejado de la mácula
Región de las hemorragias	
Edad	75 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Femenino
Ojos de color claro	Si
Fuma	Si
Hemorragias subretinianas	No
Exudados	Si
Región de exudados	600 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA LXII Caso 8 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	
Pérdida de distinción de colores	No
Drusas	Si
Región de las drusas	400 micras alejado de la mácula
Región de las hemorragias	350 micras alejado de la mácula
Edad	65 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Masculino
Ojos de color claro	No
Fuma	No
Hemorragias subretinianas	Si
Exudados	Si
Región de exudados	500 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA LXIII Caso 9 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	
Pérdida de distinción de colores	No
Drusas	Si
Región de las drusas	100 micras alejado de la mácula
Región de las hemorragias	50 micras alejado de la mácula
Edad	65 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Masculino
Ojos de color claro	Si
Fuma	No
Hemorragias subretinianas	Si
Exudados	Si
Región de exudados	330 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

TABLA LXIV Caso 10 de de DMDE	
Nombre	Valor
Tipo de visión	
Pérdida de distinción de colores	Si
Drusas	Si
Región de las drusas	100 micras alejado de la mácula
Región de las hemorragias	50 micras alejado de la mácula
Edad	65 años
Necesidad de más luz	Si
Género	Masculino
Ojos de color claro	Si
Fuma	Si
Hemorragias subretinianas	Si
Exudados	Si
Región de exudados	235 micras alejado de la mácula

Prediagnóstico:
Una vez cada seis meses

Con esta enfermedad el grado de certeza es considerable ya que de los siete casos propuestos, el prediagnóstico es correcto.

El resultado obtenido para los casos reales fue:

- 13 con diagnóstico acertado: $(13/15) \times 100\% = 86.66\%$.
 - 1 falso positivo de “Una vez cada seis meses”: $(1/15) \times 100\% = 6.66\%$.
 - 1 falso negativo de “Urgentemente”: $(1/15) \times 100\% = 6.66\%$.
- (13) (~100%)

Para los casos que sólo están basados en los reales, el resultado fue el siguiente:

- 29 con diagnóstico acertado: $(29/35) \times 100\% = 82.85\%$.
 - 1 falso positivo de “Una vez cada seis meses”: $(1/35) \times 100\% = 2.85\%$.
 - 5 falsos negativos de “Urgentemente”: $(5/35) \times 100\% = 14.28\%$.
- (35) (~100%)

Finalmente de forma global, el resultado obtenido después de analizar todos los casos fue:

- 42 con diagnóstico acertado: $(42/50) \times 100\% = 84\%$.
 - 2 falsos positivos de “Una vez cada seis meses”: $(2/50) \times 100\% = 4\%$.
 - 6 falsos negativos de “Urgentemente”: $(6/50) \times 100\% = 12\%$.
- (50) (~100%)

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y

TRABAJOS FUTUROS

A continuación se exponen las principales conclusiones sacadas al realizar este trabajo de tesis, así como algunas recomendaciones de acuerdo a la experiencia adquirida en el desarrollo del mismo. Finalmente, se proponen algunos de los trabajos futuros que se podrían desarrollar como una lógica continuación de este trabajo con el fin de complementarlo o mejorarlo de alguna forma.

5.1 Conclusiones

En este trabajo se ha demostrado que la hipótesis planteada de que mediante el análisis de los factores de riesgo de cada enfermedad, es posible determinar con un alto grado de certeza cuáles pacientes tienen la retina normal (sana) y cuáles presentan una de las cinco enfermedades degenerativas de la retina tratadas en este trabajo.

Hasta ahora se trató de utilizar los factores de riesgo más simples que se puedan obtener de manera fácil a través de una entrevista y de una revisión directa no muy profunda del paciente. Probablemente, se pueda simplificar aún más con fines de practicidad y menor costo para el paciente, para que sólo en los casos muy necesarios se haga una visita al especialista.

Además, se ha cumplido con los objetivos generales y específicos propuestos al inicio de la investigación para la eficiencia del trabajo.

Las cinco enfermedades aquí presentadas están íntimamente ligadas a las principales afecciones que se experimentan en la retina, a saber, microaneurismas, exudados duros y algodinosos, drusas y hemorragias, además de anomalías en la mácula lútea y en la papila óptica, que aportan pesos importantes para determinar con éxito el prediagnóstico para cada enfermedad.

El subsistema es fácil de usar ya que sólo es una pantalla en donde se introducen los datos, se guardan y finalmente se analizan; se espera que al introducir los valores y en el análisis no se lleve más de 5 minutos por persona y el prediagnóstico será inmediato.

El desarrollo de este subsistema ha sido una tarea compleja y extenuante, ya que primero se tuvo que realizar una extensa investigación sobre cada una de las enfermedades para tener claridad sobre los factores de riesgo que las caracterizan, y así disponer de la guía más adecuada que en conjunto con el conocimiento de la especialista, nos condujeran al prediagnóstico más acertado. Una vez que se tuvo la esencia de cada enfermedad, se hizo un estudio sobre los conceptos de la lógica difusa, ya que a pesar de que existen trabajos que utilizan estos conceptos, en su mayoría son enfocados a sistemas de control y algunos otros no son relacionados en torno al tema que se desarrolló en este trabajo de tesis.

Como resumen, a continuación listamos las conclusiones fundamentales:

- Las técnicas difusas son la mejor herramienta para expresar el conocimiento de los expertos para resolver problemas no lineales, como el que aquí se ha mostrado.
- Para la metodología aquí presentada, existen varios diseños de sistemas difusos con diferentes técnicas que posiblemente resolverían las problemáticas planteadas con mejores resultados, pero aun no han sido probadas en este trabajo.
- Se logró brindar un prediagnóstico para las distintas enfermedades aquí tratadas, utilizando conceptos difusos, con un tiempo de respuesta mínimo, por lo que el método propuesto permitiría hacer pesquisajes masivos sobre la población.
- La certeza del subsistema al prediagnosticar es aceptable; sin embargo, se puede mejorar, ya que es probable que por tener muchas variables bivalentes con membresías de 1 y escoger la regla del mínimo, disminuya en cierto grado la certeza del subsistema.

5.2 Recomendaciones

Como resultado del desarrollo del presente subsistema de *software* y de sus resultados, se generaron las siguientes recomendaciones para su mejoramiento:

- Experimentar variaciones del sistema difuso propuesto para obtener mejores resultados.
- Utilizar métodos difusos de optimización sobre el subsistema para un mejor desempeño.
- Proponer alguna técnica, tal vez alguna proveniente del campo de las redes neuronales, para el aprendizaje de este subsistema difuso.

5.3 Trabajos futuros

Con el fin de mejorar el subsistema y lograr un mayor número de posibilidades, se proponen los siguientes trabajos para llevarse a cabo en futuras tesis de licenciatura o maestría:

- Incrementar el grado de certeza del subsistema, proponiendo como el valor de membresía de aquellas variables bivalentes, el grado de importancia (normalizado entre 0 y 1) asignado por la oftalmóloga. Establecer en la variable de salida (porcentaje de enfermedad), en vez de tres particiones como se propuso, cinco particiones: sano, una vez cada mes, una vez cada tres meses, una vez cada seis meses y finalmente urgentemente.
- Correlacionar las imágenes con la anamnesis de cada paciente, para poder crear un subsistema de control más detallado.
- Detectar la mayor cantidad de afecciones en el análisis de imágenes, que ayuden a la determinación del prediagnóstico, con el fin de no realizar revisiones profundas.

Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud Documentación [en línea]. Documentación para las reuniones del Consejo Ejecutivo y las Asambleas Mundiales de la Salud (Ginebra, Suiza): OMS, 22 de diciembre de 2005, actualizado 24 de abril de 2006 [citado 21 agosto 2008]. 59ª Asamblea mundial de la salud. A59/12. Punto 11.7 del orden del día provisional. Disponible en World Wide Web:
<http://apps.who.int/gb/s/s_wha59.html>.
- [2] DREHER, Andreas, W. y REITER, Klaus, N.; Retinal Eye Disease Diagnostic System [en línea]. WIPO San Diego, CA 92101 (US): publicado 27 de octubre de 1994 [citado 17 mayo 2009]. Pub. No.: WO/1994/023641. Disponible en World Wide Web:
<<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?wo=1994023641&IA=US1993003796&DISPLAY=STATUS>>
- [3] Hiroshi Fujita, Yoshikazu Uchiyama, Toshiaki Nakagawa, Daisuke Fukuoka, Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Yoshinori Hayashi, Yuji Ikedo, Gobert N. Lee, Xin Gao1 and Xiangrong Zhou, CAD on Brain, Fundus, and Breast Images [en línea]. Springer Berlin / Heidelberg: Fecha SpringerLink 11 de junio de 2008 [citado 17 mayo 2009]. Serie de libros: Lecture Notes in Computer Science. Libro: Medical Imaging and Informatics; ISSN 0302-9743 (imprimible), 1611-3349 (en línea), Volumen 4987/2008, ISBN 978-3-540-79489-9. Disponible en World Wide Web:
<<http://www.springerlink.com/content/v45h1125k4g01766/>>
- [4] ADCIS Aplicaciones, Detección automática de lesiones en imágenes de la retina [en línea]. ADCIS online: Copyright © 2009 ADCIS SA [citado 17 mayo 2009]. Análisis de la retina. Disponible en World Wide Web:
<<http://www.adcis.net/es/Applications/RetinalAnalysis.html>>
- [5] Lalonde, M.; Laliberte, F.; Gagnon, L. RetsoftPlus: a tool for retinal image analysis [en línea]. IEEE Xplore Digital Library: © Copyright 2009 IEEE [citado 17 mayo 2009]. Computer-Based Medical Systems, 2004. CBMS 2004. Proceedings. 17th Simposio IEEE en Volumen, Tema, 24-25 Junio 2004 Páginas: 542 - 547. Digital Object Identifier 10.1109/CBMS.2004.1311771. Disponible en World Wide Web:
<<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fstamp%2Fstamp.jsp%3Ftp%3D%26isnumber%3D%26arnumber%3D1311771&authDecision=-203>>
- [6] DIAGNOS Cara - Computer Assisted Retinal Analysis [en línea]. DIAGNOS: 2009 © DIAGNOS inc. [citado 17 mayo 2009]. Disponible en World Wide Web:
<<http://www.diagnos.ca/english/cara.php>>
- [7] Sheng wu yi xue gong cheng xue za zhi = Journal of biomedical engineering = Shengwu yixue gongchengxue zazhi, A computer-aided analysis system for hypertensive retinal image and its clinical application [en línea]. Biomedexperts: 1999 [citado 17 mayo 2009]. 1999; 16(2):198-202. Disponible en World Wide Web:
<http://www.biomedexperts.com/Abstract.bme/12552663/A_computer-aided_analysis_system_for_hypertensive_retinal_image_and_its_clinical_application>
- [8] Ching-Wen Yang, Dye-Jyun Ma and Shuenn-Ching Chao, Chuin-Mu Wang, Chia-Hsin Wen, Chien-Shun Lo and Pau-Choo Chung, Chein-I Chang; Computer-aided diagnostic detection system of venous beading in retinal images [en línea]. SPIE Digital Library: © 1990 – 2009. Recibido 3 de septiembre de

1999; revisado 23 de noviembre de 1999; aceptado 9 de diciembre de 1999 [citado 17 mayo 2009]. Optical Engineering, Vol. 39, 1293 (2000); DOI:10.1117/1.602487. Disponible en World Wide Web:

<<http://spiedl.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=OPEGAR000039000005001293000001&idtype=cvips&gifs=yes>>

- [9] Raman, B.; Wilson, M.; Benche, I.; Soliz, P., A JAVA-based system for segmentation and analysis of retinal images [en línea]. IEEE Xplore Digital Library: © Copyright 2009 IEEE [citado 17 mayo 2009]. Computer-Based Medical Systems, 2003. Proceedings. 16th Simposio IEEE en Volumen, Tema, 26-27 Junio 2003 Páginas: 336 - 339. Digital Object Identifier 10.1109/CBMS.2003.1212811. Disponible en World Wide Web:

<<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F8605%2F27272%2F01212811.pdf%3Farnumber%3D1212811&authDecision=-203>>

- [10] Bonifacio Martín del Brío, Alfredo Sanz Molina (2007): Redes Neuronales y Sistemas Difusos. ed., Alfaomega Ra-Ma, pp. 245-270

- [11] Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima). Facultad de Medicina. Escuela Académico Profesional de Medicina Humana. Departamento Académico de Cirugía; Tema 9: Glaucoma [en línea]. SISBIB, UNMSM (Lima): 2000 [citado 21 agosto 2008]. Cirugía: IV oftalmología. Serie: Cirugía; 4. ISBN: 9972-46-114-9. Dr. César Larraín Alzamora. Disponible en World Wide Web:

<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/Medicina/cirugia/Tomo_IV/glaucoma.htm>

- [12] National Eye Institute, El Glaucoma [en línea]. National Eye Institute (US): última actualización Junio 2009 [citado 21 agosto 2008]. Lo que usted debe saber. Disponible en World Wide Web:

<http://www.nei.nih.gov/health/espanol/glaucoma_paciente.asp>

- [13] Robbins, Cotran, Kumar and Collings (1999): Manual de Patología Estructural y Funcional. ed., MacGrawHill, pp. 515, 731-734

- [14] Profesor Flammer Josef M.D, Director del Instituto Universitario de Ojos en Basilea, Suiza. GLAUCOMA - A Guide for Patients by Josef Flammer MD - Textbook - Spanish Version

- [15] Centro Oftalmológico Dolores, Retinopatía diabética. COD (Buenos Aires, Argentina): [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.geocities.com/fabianroch/diabetica.html>>

- [16] National Eye Institute, La Retinopatía Diabética [en línea]. National Eye Institute (US): última actualización Junio 2009 [citado 21 agosto 2008]. Lo que usted debe saber. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.nei.nih.gov/health/espanol/retinopatia.asp>>

- [17] Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima). Facultad de Medicina. Escuela Académico Profesional de Medicina Humana. Departamento Académico de Cirugía; Tema 15: Oftalmología médica I. Retinopatía diabética. Retinopatía hipertensiva arterioesclerótica [en línea]. SISBIB, UNMSM (Lima): 2000 [citado 21 agosto 2008]. Cirugía: IV oftalmología. Serie: Cirugía; 4. ISBN: 9972-46-114-9. Dr. Juan Vásquez Donayre. Disponible en World Wide Web:

<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/Medicina/cirugia/Tomo_IV/ofal_med1.htm>

- [18] Dr. Rodrigo Álvarez Nazer, Retinopatía hipertensiva [en línea]. Universidad Católica de Chile 2002: Curso de oftalmología; Escuela de medicina UDA Oftalmología. Disponible en World Wide Web:

<<http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/quinto/Especialidades/Oftalmologia/RetinopatiaHipertensiva.html>>

- [19] S. Gil Veguillas, E. Aguilar Huerta y M. Otero Boado, Retinopatía hipertensiva [en línea]. SEMERGEN (España): revista SEMERGEN febrero 99 (Nº 2) [citado 21 agosto 2008]. Semergen 25 (2): 142-143. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.semergen.es/semergen2/cda/documentos/revistas/pdf/numero2-99/142-143.pdf>>

- [20] Enciclopedia libre, Retinosis Pigmentaria [en línea]. Wikipedia: actualización 21 de junio de 2009 [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Retinosis_pigmentaria>

- [21] Dr. Alberto Aranda Yus, La retinosis pigmentaria [en línea]. OftalmoCRONUX, Artículos: marzo de 2005 [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<<http://cronux.net/albertoa/RP.pdf>>

- [22] AARPE, Retinosis pigmentaria [en línea]. AARPE (Euskadi): © 2003 AARPE [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.retinosispigmentaria.org/es/retinosis1.html>>

- [23] Dra. Maritza Herrera Mora, Clasificación de la retinosis pigmentaria. Consideraciones. [en línea]. Revista médica electrónica (Matanzas, Cuba): mayo-junio 2004 [citado 21 agosto 2008]. Revista médica electrónica VOL: 26. No:3. ISSN 1684-1824. Tema 4. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.revmatanzas.sld.cu/revista%20medica/ano%202004/vol3%202004/revista%20medica%20vol3%202004.htm#Editorial>>

- [24] tuotromedico, Oftalmología [en línea]. Tuotromedico: actualización enero 2009 [citado 21 agosto 2008]. Degeneración Macular del Ojo. Disponible en World Wide Web:

<http://www.tuotromedico.com/temas/degeneracion_macular_ojo.htm>

- [25] Medem, Degeneración Macular: Un vistazo a fondo [en línea]. Medical Library (San Francisco, CA): © 2007 American Academy of Ophthalmology [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.medem.com/medlib/article/ZZZROFXWL4F>>

- [26] National Eye Institute, Degeneración macular relacionada con la edad [en línea]. National Eye Institute (US): última actualización octubre 2008 [citado 21 agosto 2008]. ¿Corre riesgo de tener degeneración macular? Disponible en World Wide Web:

<http://www.nei.nih.gov/health/espanol/amd_corre.asp>

- [27] Miguel Ramos, Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE) [en línea]. iEspaña (España): actualización 18 de mayo de 2009 [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<<http://miguelramos.iespana.es/>>

- [28] Ocularis, Degeneración macular asociada a la edad [en línea]. Ocularis (España): actualización 16 de diciembre de 2006 [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<<http://ocularis.es/blog/?p=90>>

- [29] NLM, Degeneración macular [en línea]. MedlinePlus (US): actualización 6 de mayo de 2009 [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/tutorial.html>>

- [30] National Eye Institute, Degeneración macular relacionada con la edad [en línea]. National Eye Institute (US): última actualización octubre 2008 [citado 21 agosto 2008]. Lo que usted debe saber. Disponible en World Wide Web:
<http://www.nei.nih.gov/health/espanol/amd_paciente.asp>
- [31] Dr. Adalberto Coronado Monroy, ¿Qué es la degeneración de la mácula lútea? [en línea]. Isano (Hermosillo, Sonora, México): [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:
<<http://retina.uson.mx/macula.htm>>
- [32] Centro Oftalmológico Dolores, Retinopatía diabética. COD (Buenos Aires, Argentina): [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:
<<http://www.geocities.com/fabianroch/macula.html>>
- [33] Medem, Degeneración macular relacionada con la edad [en línea]. Medical Library (San Francisco, CA): © 2006 American Academy of Ophthalmology [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:
<http://www.medem.com/MedLB/article_detailb.cfm?article_ID=ZZZXBGOIM1D&sub_cat=2011>
- [34] Degeneración Relacionada De Macular De la Edad - (su sigla en inglés es AMD) [en línea]. [citado 21 agosto 2008]. Disponible en World Wide Web:
<<http://degeneracionmacular.org/#Introduction%20to%20AMD>>
- [35] NLM, Degeneración macular [en línea]. MedlinePlus (US): actualización 8 de abril de 2008 [citado 21 agosto 2008]. Enciclopedia médica en español. Disponible en World Wide Web:
<<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001000.htm>>
- [36] José Manuel González de Buitrago (2004): Técnicas y métodos de laboratorio clínico. 2da. Edición, editorial Masson, pp. 128-129
- [37] William Siler, James J. Buckley (2002): Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning. Editorial Wiley-Interscience, pp. 1-13.
- [38] Medina Hurtado, Santiago y Manco, Oscar Oswaldo; Diseño de un sistema experto difuso: Evaluación de riesgo crediticio en firmas comisionistas de bolsa para el otorgamiento de recursos financieros [en línea]. Universidad ICESI, Biblioteca digital (México): publicado 27 de noviembre de 2007 [citado 24 junio 2009]. Vol. 23 No. 104. Disponible en World Wide Web:
<<http://dspace.icesi.edu.co/dspace/handle/item/1274>>
- [39] Christian Cardona, Diana Restrepo y Demetrio Ovalle; Sistema Experto Difuso para Determinar Perfiles Criminológicos basado en el Test de Lüscher y Variables Socio-Criminológicas [en línea]. Universidad Nacional de Colombia (Medellín, Colombia): septiembre de 2007 [citado 24 junio 2009]. Avances en sistemas e informática. Volumen 4 N° 2. Páginas 97-106. Disponible en World Wide Web:
<http://pisis.unalmed.edu.co/avances/volumen_4_2.html>
- [40] Carlos Soto, Marlene; Sistema experto de diagnóstico médico del síndrome de Guillain Barré [en línea]. SISBIB, UNMSM (Lima): 2002 [citado 24 junio 2009]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima). Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP. de Computación. Disponible en World Wide Web:
<http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/carlos_sm/carlos_sm.htm>
- [41] Lic. Miguel A. Guevara López, Dr. Mario Rodríguez Rodríguez y Dra. Norma González Pestano, DIAG, un sistema experto para el diagnóstico de anomalías craneofaciales [en línea]. BVS Revista

Cubana de Investigaciones Biomédicas (La Habana, Cuba): julio-diciembre 1997 [citado 24 junio 2009]. Vol 16, No. 2. Disponible en World Wide Web:

<http://bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol16_2_97/ibi03297.htm>

- [42] Janice S. Aikins, John C. Kunz, Edward H. Shortliffc, and Robert J. Fallat; PUFF: An Expert System for Interpretation of Pulmonary Function Data [en línea]. Stanford reports Septiembre 1982 [citado 24 junio 2009]. numbered: HPP-82- I3. Disponible en ftp:

<<ftp://reports.stanford.edu/pub/cstr/reports/cs/tr/82/931/CS-TR-82-931.pdf>>

- [43] Pereira Riverón, Ramiro; Pérez González, Juan Pablo; Varona Faz, Roberto; Jongh Cobo, Enrique de. Neurex: sistema experto en diagnóstico, tratamiento y docencia con computadoras [en línea]. BVS (La Habana, Cuba): marzo-abril 1990 [citado 24 junio 2009]. Disponible en World Wide Web:

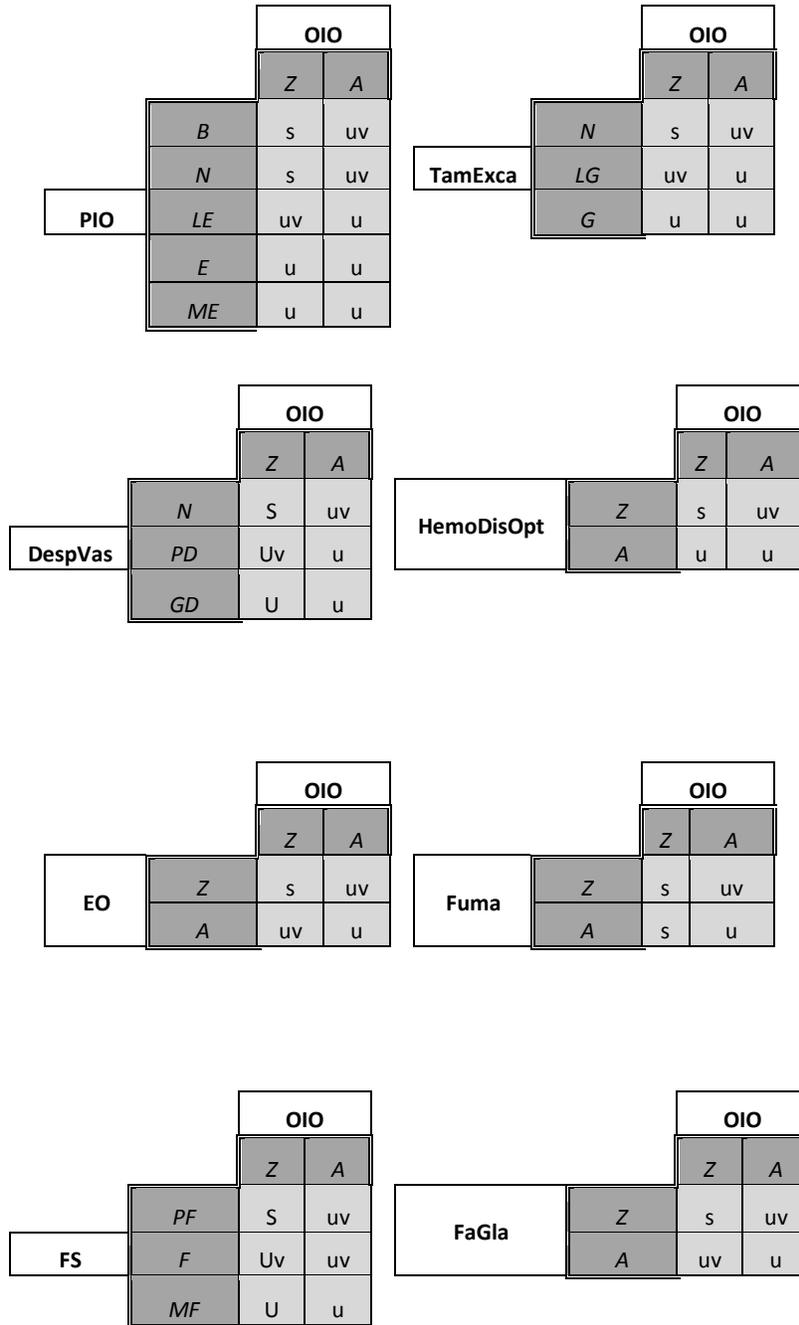
<<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=85496&indexSearch=ID>>

- [44] J. Rozenbojm, E. Palladino y A.C. Azevedo, Sistema experto de diagnóstico clínico para el apoyo de la primera consulta [en línea]. INSP (Cuernavaca, Morelos, México): 1993 [citado 24 junio 2009]. Vol. 35(3):321-325. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.insp.mx/rsp/articulos/articulo.php?id=001303>>

Apéndice A

FAMs para el glaucoma



		OIO											
		Z	A				Z	A					
DolOcu	Z	S	uv		VisTun	Z	s	uv		Edad	AJ	s	uv
	A	Uv	u			A	u	u			AM	s	uv
											A	uv	u

		PIO											
		B	N	LE	E	ME							
TamExca	N	S	s	uv	u	u	DespVas	N	s	s	uv	u	u
	LG	Uv	uv	u	u	u		PD	uv	uv	u	u	u
	G	U	u	u	u	u		GD	u	u	u	u	u

		PIO											
		B	N	LE	E	ME							
HemoDisOpt	Z	s	s	u	u	u	EO	Z	s	s	uv	u	u
	A	u	u	u	u	u		A	s	s	uv	u	u

		PIO											
		B	N	LE	E	ME							
Fuma	Z	s	s	uv	U	u	FS	PF	s	s	uv	u	u
	A	s	uv	uv	U	u		F	uv	uv	u	u	u
								MF	uv	uv	u	u	u

		PIO											
		B	N	LE	E	ME							
FaGla	Z	s	s	Uv	u	u	DolOcu	Z	s	s	uv	u	u
	A	uv	uv	U	u	u		A	uv	uv	u	u	u

		PIO				
		B	N	LE	E	ME
VisTun	Z	S	s	uv	u	u
	A	Uv	uv	u	u	u

		PIO				
		B	N	LE	E	ME
Edad	AJ	s	s	uv	u	u
	AM	s	s	uv	u	u
	A	uv	uv	u	u	u

		TamExca		
		N	LG	G
DespVas	N	s	uv	u
	PD	uv	uv	u
	GD	u	U	u

		TamExca		
		N	LG	G
HemoDisOpt	Z	s	uv	u
	A	u	u	u

		TamExca		
		N	LG	G
EO	Z	s	uv	u
	A	uv	uv	u

		TamExca		
		N	LG	G
Fuma	Z	s	uv	u
	A	uv	uv	u

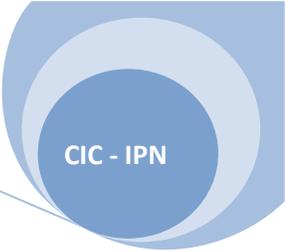
		TamExca		
		N	LG	G
FS	PF	s	uv	u
	F	uv	uv	u
	MF	uv	U	u

		TamExca		
		N	LG	G
FaGla	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		TamExca		
		N	LG	G
DolOcu	Z	s	uv	u
	A	uv	uv	u

		TamExca		
		N	LG	G
VisTun	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		TamExca		
		N	LG	G
Edad	AJ	s	uv	u
	AM	s	uv	u
	A	uv	u	u



		DespVas		
		N	PD	GD
HemoDisOpt	Z	s	uv	u
	A	u	u	u

		DespVas		
		N	PD	GD
EO	Z	s	uv	u
	A	uv	uv	u

		DespVas		
		N	PD	GD
Fuma	Z	s	uv	u
	A	s	uv	u

		DespVas		
		N	PD	GD
FS	PF	S	uv	u
	F	uv	uv	u
	MF	uv	u	u

		DespVas		
		N	PD	GD
FaGla	Z	S	uv	u
	A	Uv	u	u

		DespVas		
		N	PD	GD
DolOcu	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		DespVas		
		N	PD	GD
VisTun	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

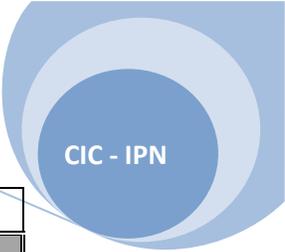
		DespVas		
		N	PD	GD
Edad	AJ	S	uv	u
	AM	S	uv	u
	A	uv	u	u

		HemoDisOpt	
		Z	A
EO	Z	S	u
	A	Uv	u

		HemoDisOpt	
		Z	A
Fuma	Z	s	u
	A	uv	u

		HemoDisOpt	
		Z	A
FS	PF	S	u
	F	Uv	u
	MF	Uv	u

		HemoDisOpt	
		Z	A
FaGla	Z	s	u
	A	uv	u



		HemoDisOpt				HemoDisOpt				HemoDisOpt	
		Z	A			Z	A			Z	A
DolOcu	Z	S	u	VisTun	Z	s	u	Edad	AJ	s	u
	A	Uv	u		A	uv	u		AM	s	u
									A	uv	u

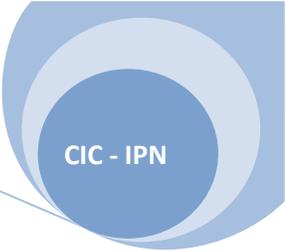
		EO				EO	
		Z	A			Z	A
Fuma	Z	S	uv	FS	PF	s	uv
	A	Uv	uv		F	uv	uv
					MF	uv	u

		EO				EO	
		Z	A			Z	A
FaGla	Z	S	uv	DolOcu	Z	s	uv
	A	Uv	uv		A	uv	u

		EO				EO	
		Z	A			Z	A
VisTun	Z	S	uv	Edad	AJ	s	uv
	A	Uv	u		AM	s	uv
					A	uv	u

		Fumar				Fumar	
		Z	A			Z	A
FS	PF	S	s	FaGla	Z	s	uv
	F	Uv	uv		A	uv	uv
	MF	Uv	u				

		Fumar				Fumar				Fumar	
		Z	A			Z	A			Z	A
DolOcu	Z	s	uv	VisTun	Z	S	uv	Edad	AJ	s	uv
	A	uv	u		A	U	u		AM	s	uv
									A	uv	uv



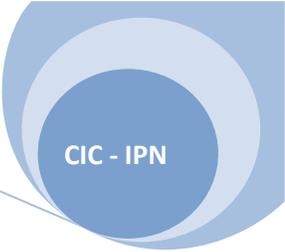
		FS					FS		
		PF	F	MF			PF	F	MF
FaGla	Z	s	uv	uv	DoIOcu	Z	s	uv	uv
	A	uv	uv	uv		A	uv	u	u

		FS					FS		
		PF	F	MF			PF	F	MF
VisTun	Z	s	Uv	uv	Edad	AJ	s	s	uv
	A	u	U	u		AM	s	s	uv
						A	uv	u	u

		FaGla				FaGla				FaGla	
		Z	A			Z	A			Z	A
DoIOcu	Z	s	uv	VisTun	Z	S	uv	Edad	AJ	s	uv
	A	uv	u		A	U	u		AM	s	uv
									A	uv	uv

		DoIOcu				DoIOcu	
		Z	A			Z	A
VisTun	Z	s	uv	Edad	AJ	s	uv
	A	u	u		AM	s	uv
					A	s	u

		VisTun	
		Z	A
Edad	AJ	s	u
	AM	s	u
	A	s	u



FAMs para la retinopatía diabética

		Diabet				Diabet	
		Z	A			Z	A
Neovascu	Z	s	uv	EdeMacu	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u

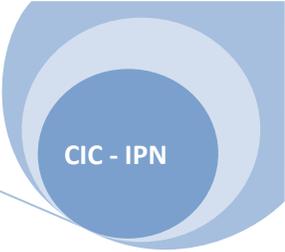
		Diabet				Diabet	
		Z	A			Z	A
AnioDiabet	PT	s	uv	RegMicro	MC	uv	uv
	TC	s	uv		C	uv	u
	MT	s	uv		L	uv	u

		Diabet				Diabet	
		Z	A			Z	A
ExuDur	Z	s	uv	RegExuD	MC	uv	u
	A	uv	u		C	uv	u
					L	uv	uv

		Diabet				Diabet	
		Z	A			Z	A
NumExu	P	uv	uv	VisManSang	Z	s	uv
	C	uv	u		A	u	u
	M	u	u				

		Diabet				Diabet	
		Z	A			Z	A
Microaneu	Z	s	uv	NumMicro	P	uv	uv
	A	uv	u		C	uv	u
					M	u	u

		Diabet				Diabet	
		Z	A			Z	A
GotSang	Z	s	uv	RegGotSang	MC	u	u
	A	u	u		C	u	u
					L	u	u



		Neovascu				Neovascu	
		Z	A			Z	A
EdeMacu	Z	s	uv	AnioDiabet	PT	uv	uv
	A	uv	u		TC	uv	u
					MT	uv	u

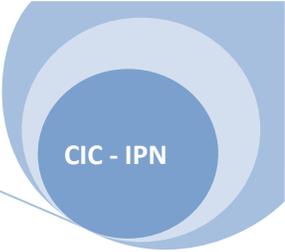
		Neovascu				Neovascu	
		Z	A			Z	A
RegMicro	MC	s	u	ExuDur	Z	s	U
	C	s	u		A	uv	U
	L	s	uv				

		Neovascu				Neovascu	
		Z	A			Z	A
RegExuD	MC	u	u	NumExu	P	uv	uv
	C	u	u		C	uv	u
	L	uv	u		M	u	u

		Neovascu				Neovascu	
		Z	A			Z	A
VisManSang	Z	s	uv	Microaneu	Z	s	uv
	A	u	u		A	uv	u

		Neovascu				Neovascu				Neovascu	
		Z	A			Z	A			Z	A
NumMicro	P	Uv	uv	GotSang	Z	s	uv	RegGotSang	MC	u	u
	C	Uv	u		A	u	u		C	u	u
	M	Uv	u						L	u	u

		EdeMacu				EdeMacu	
		Z	A			Z	A
AnioDiabet	PT	uv	uv	RegMicro	MC	u	u
	TC	uv	u		C	uv	u
	MT	uv	u		L	uv	uv



				EdeMacu	
				Z	A
ExuDur	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				EdeMacu	
				Z	A
RegExuD	MC	u	u		
	C	uv	u		
	L	uv	u		

				EdeMacu	
				Z	A
NumExu	P	uv	uv		
	C	uv	u		
	M	u	u		

				EdeMacu	
				Z	A
VisManSang	Z	s	uv		
	A	u	u		

				EdeMacu	
				Z	A
Microaneu	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				EdeMacu	
				Z	A
NumMicro	P	uv	uv		
	C	uv	u		
	M	u	u		

				EdeMacu	
				Z	A
GotSang	Z	s	uv		
	A	u	u		

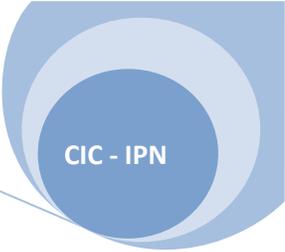
				EdeMacu	
				Z	A
RegGotSang	MC	u	u		
	C	u	u		
	L	u	u		

				AnioDiabet		
				PT	TC	MT
RegMicro	MC	u	u	u		
	C	uv	u	u		
	L	uv	uv	u		

				AnioDiabet		
				PT	TC	MT
ExuDur	Z	uv	uv	uv		
	A	uv	uv	u		

				AnioDiabet		
				PT	TC	MT
RegExuD	MC	u	u	u		
	C	uv	u	u		
	L	uv	uv	u		

				AnioDiabet		
				PT	TC	MT
NumExu	P	uv	uv	u		
	C	uv	u	u		
	M	u	u	u		



VisManSang	Z A	AnioDiabet			Microaneu	Z A	AnioDiabet		
		PT	TC	MT			PT	TC	MT
		uv	uv	uv			uv	u	u
		u	u	u			u	u	u

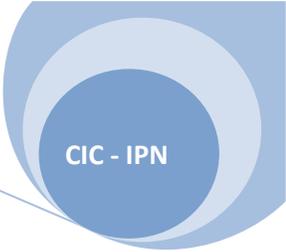
NumMicro	P C M	AnioDiabet			GotSang	Z A	AnioDiabet			RegGotSang	MC C L	AnioDiabet		
		PT	TC	MT			PT	TC	MT			PT	TC	MT
		uv	uv	uv			uv	u	u			u	u	u
		u	u	u			u	u	u			u	u	u

ExuDur	Z A	RegMicro			RegExuD	MC C L	RegMicro		
		MC	C	L			MC	C	L
		u	uv	uv			u	u	uv
		u	u	uv			uv	uv	uv

NumExu	P C M	RegMicro			VisManSang	Z A	RegMicro		
		MC	C	L			MC	C	L
		u	uv	uv			u	uv	uv
		u	u	uv			u	u	u

Microaneu	Z A	RegMicro			NumMicro	P C M	RegMicro		
		MC	C	L			MC	C	L
		u	uv	uv			u	uv	uv
		u	u	uv			u	u	u

GotSang	Z A	RegMicro			RegGotSang	MC C L	RegMicro		
		MC	C	L			MC	C	L
		uv	uv	uv			u	u	u
		u	u	u			u	u	u



		ExuDur				ExuDur		
			Z	A			Z	A
		<i>MC</i>	u	u		<i>P</i>	uv	uv
RegExuD		<i>C</i>	uv	u	NumExu	<i>C</i>	uv	u
		<i>L</i>	uv	uv		<i>M</i>	u	u

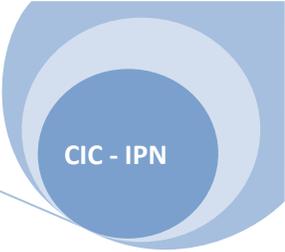
		ExuDur				ExuDur		
			Z	A			Z	A
		<i>Z</i>	s	uv		<i>Z</i>	s	uv
VisManSang		<i>A</i>	u	u	Microaneu	<i>A</i>	uv	u

		ExuDur				ExuDur				ExuDur				
			Z	A			Z	A			Z	A		
		<i>P</i>	Uv	uv			<i>Z</i>	s	uv			<i>MC</i>	u	u
		<i>C</i>	Uv	u	GotSang	<i>A</i>	u	u	RegGotSang		<i>C</i>	u	u	
NumMicro		<i>M</i>	U	u							<i>L</i>	u	u	

		RegExuD					RegExuD						
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			
		<i>P</i>	u	uv	uv			<i>Z</i>	u	uv	uv		
NumExu		<i>C</i>	u	u	uv	VisManSang		<i>A</i>	u	u	u		
		<i>M</i>	u	u	u								

		RegExuD					RegExuD				
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	
		<i>Z</i>	u	uv	uv			<i>P</i>	u	uv	uv
Microaneu		<i>A</i>	u	u	uv	NumMicro		<i>C</i>	u	u	uv
								<i>M</i>	u	u	u

		RegExuD					RegExuD				
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	
		<i>Z</i>	u	uv	uv			<i>MC</i>	u	u	u
GotSang		<i>A</i>	u	u	u	RegGotSang		<i>C</i>	u	u	u
								<i>L</i>	u	u	u



		NumExu					NumExu		
		P	C	M			P	C	M
VisManSang	Z	uv	uv	u	Microaneu	Z	uv	uv	u
	A	u	u	u		A	uv	u	u

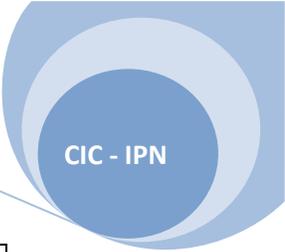
		NumExu					NumExu					NumExu		
		P	C	M			P	C	M			P	C	M
NumMicro	P	uv	uv	u	GotSang	Z	uv	uv	u	RegGotSang	MC	u	u	u
	C	uv	u	u		A	uv	u	u		C	uv	u	u
	M	u	u	u		L	uv	uv	u		L	uv	uv	u

		VisManSang				VisManSang	
		Z	A			Z	A
Microaneu	Z	s	u	NumMicro	P	uv	u
	A	uv	u		C	uv	u
					M	u	u

		VisManSang				VisManSang	
		Z	A			Z	A
GotSang	Z	s	u	RegGotSang	MC	u	u
	A	u	u		C	u	u
					L	u	u

		Microaneu				Microaneu				Microaneu	
		Z	A			Z	A			Z	A
NumMicro	P	s	uv	GotSang	Z	S	uv	RegGotSang	MC	u	u
	C	s	uv		A	U	u		C	u	u
	M	s	u		L	u	u		L	u	u

		NumMicro					NumMicro					GotSang	
		P	C	M			P	C	M			Z	A
GotSang	Z	uv	Uv	u	RegGotSang	MC	U	u	u	RegGotSang	MC	s	u
	A	u	U	u		C	U	u	u		C	s	u
						L	U	u	u		L	s	u



FAMs para la retinopatía hipertensiva

		Hiper						
		Z	A			Z	A	
EsclerArt	Z	s	uv	Vasocons	Z	s	uv	Eclam
	A	uv	u		A	uv	u	

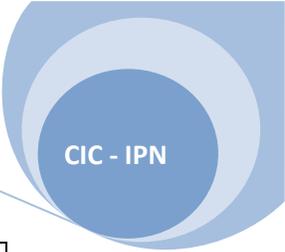
		Hiper						
		Z	A			Z	A	
RAVA	Z	s	uv	Extravas	Z	s	uv	RegHemo
	A	uv	u		A	uv	u	
							C	
							L	s

		Hiper						
		Z	A			Z	A	
Hemo	Z	s	uv	NumHemo	P	s	uv	Preclam
	A	uv	u		C	uv	u	
					M	u	u	A

		Hiper						
		Z	A			Z	A	
Feocro	Z	s	uv	ExuSua	Z	s	uv	NumExuS
	A	uv	u		A	uv	u	
							C	
							M	u

		Hiper							
		Z	A			Z	A		
ExuDur	Z	s	uv	NumExu	P	s	uv	RegExuD	
	A	uv	u		C	uv	u		MC
					M	u	u		C
							L	s	

		Hiper						
		Z	A			Z	A	
HilCob	Z	s	uv	HilPlat	Z	s	uv	RegExuS
	A	uv	u		A	uv	u	
							C	
							L	s



		Hiper	
		Z	A
VisBorro	Z	s	uv
	A	uv	u

		Hiper	
		Z	A
EdeMacu	Z	s	uv
	A	uv	u

		Hiper	
		Z	A
BriArte	Z	s	uv
	A	uv	u

		Hiper	
		Z	A
EdePapi	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
Vasocons	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
Eclam	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
RAVA	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
Extravas	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
RegHemo	MC	u	u
	C	uv	u
	L	s	uv

		EsclerArt	
		Z	A
Hemo	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
NumHemo	P	s	uv
	C	uv	u
	M	u	u

		EsclerArt	
		Z	A
Preclam	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
Feocro	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
ExuSua	Z	s	uv
	A	uv	u

		EsclerArt	
		Z	A
NumExuS	P	s	uv
	C	uv	u
	M	u	u

		EsclerArt	
		Z	A
ExuDur	Z	s	uv
	A	uv	u

		Vasocons				Vasocons				Vasocons		
		Z	A			Z	A			Z	A	
		P	s	uv	ExuDur	Z	s	uv		P	s	uv
NumExuS		C	uv	u		A	uv	u	NumExu	C	uv	u
		M	u	u						M	u	u

		Vasocons				Vasocons				Vasocons		
		Z	A			Z	A			Z	A	
		MC	u	u	HilCob	Z	s	uv		Z	s	uv
RegExuD		C	uv	u		A	uv	u	HilPlat	A	uv	u
		L	s	uv								

		Vasocons				Vasocons				Vasocons		
		Z	A			Z	A			Z	A	
		MC	u	u	VisBorro	Z	s	uv		Z	s	uv
RegExuS		C	uv	u		A	uv	u	EdeMacu	A	uv	u
		L	s	uv								

		Vasocons				Vasocons		
		Z	A			Z	A	
		Z	s	uv	BriArte	Z	s	uv
		A	uv	u		A	uv	u
					EdePapi			

		Eclam				Eclam				Eclam		
		Z	A			Z	A			Z	A	
		Z	s	uv	RAVA	Z	s	uv		Z	s	uv
		A	uv	u		A	uv	u	Extravas	A	uv	u
									RegHemo	MC	u	u
										C	uv	u
										L	s	uv

		Eclam				Eclam				Eclam		
		Z	A			Z	A			Z	A	
		Z	s	uv	Hemo	Z	s	uv		Z	s	uv
		A	uv	u		A	uv	u	NumHemo	C	uv	u
										M	u	u
									Preclam			

Feocro	Eclam			ExuSua	Eclam			NumExuS	Eclam		
	Z	s	uv		Z	s	uv		P	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u		C	uv	u
							M	u	u		

ExuDur	Eclam			NumExu	Eclam			RegExuD	Eclam		
	Z	s	uv		P	s	uv		MC	u	u
	A	uv	u		C	uv	u		C	uv	u
				M	u	u	L	s	uv		

HilCob	Eclam			HilPlat	Eclam			RegExuS	Eclam		
	Z	s	uv		Z	s	uv		MC	u	u
	A	uv	u		A	uv	u		C	uv	u
							L	s	uv		

VisBorro	Eclam			EdeMacu	Eclam			BriArte	Eclam		
	Z	s	uv		Z	s	uv		Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u		A	uv	u

EdePapi	Eclam		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Extravas	RAVA			RegHemo	RAVA			Hemo	RAVA		
	Z	s	uv		MC	u	u		Z	s	uv
	A	uv	u		C	uv	u		A	uv	u
				L	s	uv					

		RAVA	
		Z	A
NumHemo	P	s	uv
	C	uv	u
	M	u	u

		RAVA	
		Z	A
Preclam	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
Feocro	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
ExuSua	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
NumExuS	P	s	uv
	C	uv	u
	M	u	u

		RAVA	
		Z	A
ExuDur	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
NumExu	P	s	uv
	C	uv	u
	M	u	u

		RAVA	
		Z	A
RegExuD	MC	u	u
	C	uv	u
	L	s	uv

		RAVA	
		Z	A
HilCob	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
HilPlat	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
RegExuS	MC	u	u
	C	uv	u
	L	s	uv

		RAVA	
		Z	A
VisBorro	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
EdeMacu	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
BriArte	Z	s	uv
	A	uv	u

		RAVA	
		Z	A
EdePapi	Z	s	uv
	A	uv	u

		Extravas	
		Z	A
RegHemo	MC	u	u
	C	uv	u
	L	s	uv

		Extravas	
		Z	A
Hemo	Z	s	uv
	A	uv	u

		Extravas	
		Z	A
NumHemo	P	s	uv
	C	uv	u
	M	u	u

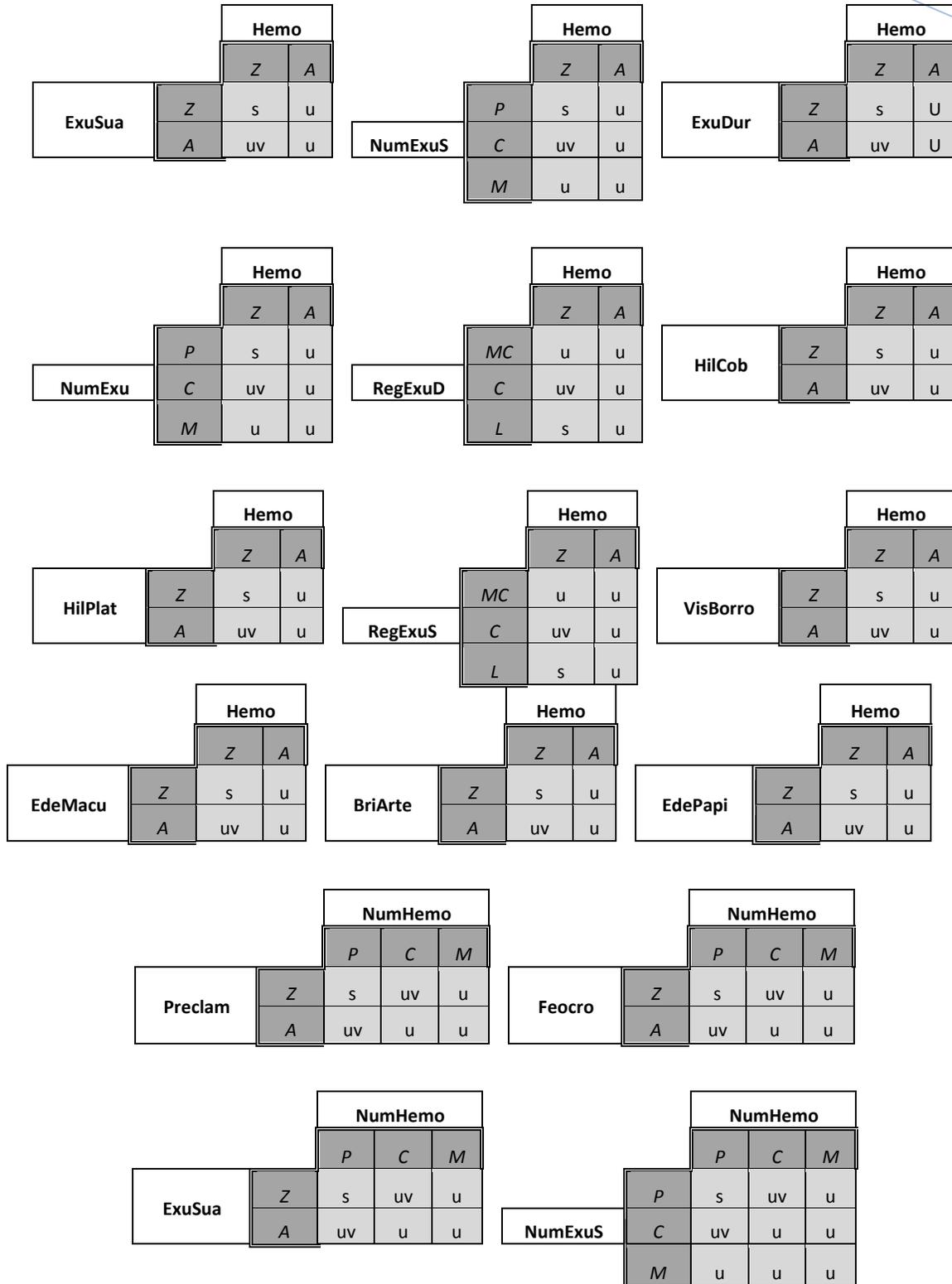
		Extravas					
		Z	A			Z	A
Preclam	Z	s	uv	Feocro	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u
		Extravas				Extravas	
		Z	A			Z	A
ExuSua	Z	s	uv	ExuDur	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u

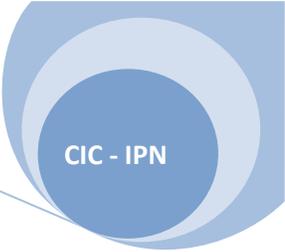
		Extravas					
		Z	A			Z	A
NumExuS	P	s	uv	NumExu	P	s	uv
	C	uv	u		C	uv	u
	M	u	u		M	u	u

		Extravas					
		Z	A			Z	A
RegExuD	MC	u	u	HilCob	Z	s	uv
	C	uv	u		A	uv	u
	L	s	uv				
		Extravas				Extravas	
		Z	A			Z	A
RegExuS	MC	u	u	VisBorro	Z	s	uv
	C	uv	u		A	uv	u
		Extravas				Extravas	
		Z	A			Z	A
RegExuS	MC	u	u	EdeMacu	Z	s	uv
	C	uv	u		A	uv	u
	L	s	uv				

		Extravas					
		Z	A			Z	A
BriArte	Z	s	Uv	EdePapi	Z	s	uv
	A	uv	U		A	uv	u

		Hemo					
		Z	A			Z	A
NumHemo	P	s	uv	Preclam	Z	s	u
	C	s	u		A	uv	u
	M	s	u				
		Hemo				Hemo	
		Z	A			Z	A
Preclam	Z	s	u	Feocro	Z	s	u
	A	uv	u		A	uv	u





		NumHemo		
		P	C	M
ExuDur	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		NumHemo		
		P	C	M
NumExu	P	s	uv	u
	C	uv	u	u
	M	u	u	u

		NumHemo		
		P	C	M
RegExuD	MC	u	u	u
	C	uv	u	u
	L	s	uv	u

		NumHemo		
		P	C	M
HilCob	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		NumHemo		
		P	C	M
HilPlat	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		NumHemo		
		P	C	M
RegExuS	MC	u	u	u
	C	uv	u	u
	L	s	uv	u

		NumHemo		
		P	C	M
VisBorro	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		NumHemo		
		P	C	M
EdeMacu	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

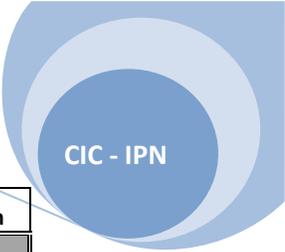
		NumHemo		
		P	C	M
BriArte	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		NumHemo		
		P	C	M
EdePapi	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u

		Preclam	
		Z	A
Feocro	Z	s	uv
	A	uv	u

		Preclam	
		Z	A
ExuSua	Z	s	uv
	A	uv	u

		Preclam	
		Z	A
NumExuS	P	s	uv
	C	uv	u
	M	u	u



				Preclam	
				Z	A
ExuDur	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Preclam	
				Z	A
NumExu	P	s	uv		
	C	uv	u		
	M	u	u		

				Preclam	
				Z	A
RegExuD	MC	u	u		
	C	uv	u		
	L	s	uv		

				Preclam	
				Z	A
HilCob	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Preclam	
				Z	A
HilPlat	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Preclam	
				Z	A
RegExuS	MC	u	u		
	C	uv	u		
	L	s	uv		

				Preclam	
				Z	A
VisBorro	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Preclam	
				Z	A
EdeMacu	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Preclam	
				Z	A
BriArte	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Preclam	
				Z	A
EdePapi	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Feocro	
				Z	A
ExuSua	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Feocro	
				Z	A
NumExuS	P	s	uv		
	C	uv	u		
	M	u	u		

				Feocro	
				Z	A
ExuDur	Z	s	uv		
	A	uv	u		

				Feocro	
				Z	A
NumExu	P	s	uv		
	C	uv	u		
	M	u	u		

				Feocro	
				Z	A
RegExuD	MC	u	u		
	C	uv	u		
	L	s	uv		

				Feocro	
				Z	A
HilCob	Z	s	uv		
	A	uv	u		

		Feocro					Feocro					Feocro		
		Z	A				Z	A				Z	A	
HilPlat	Z	s	uv			RegExuS	MC	u	u			Z	s	uv
	A	uv	u				C	uv	u			A	uv	u
							L	s	uv					

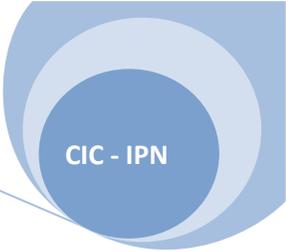
		Feocro					Feocro					Feocro		
		Z	A				Z	A				Z	A	
EdeMacu	Z	s	uv			BriArte	Z	s	uv			Z	s	uv
	A	uv	u				A	uv	u			A	uv	u

		NumExuS						NumExuS			
		P	C	M				P	C	M	
ExuDur	Z	s	uv	u			NumExu	P	s	uv	u
	A	uv	u	u				C	uv	u	u
								M	u	u	u

		NumExuS						NumExuS			
		P	C	M				P	C	M	
	RegExuD	MC	u	u	u		HilCob	Z	s	uv	u
		C	uv	u	u			A	uv	u	u
		L	s	uv	u						

		NumExuS						NumExuS			
		P	C	M				P	C	M	
HilPlat	Z	s	uv	u			RegExuS	MC	u	u	u
	A	uv	u	u				C	uv	u	u
								L	s	uv	u

		NumExuS						NumExuS			
		P	C	M				P	C	M	
VisBorro	Z	s	uv	u			EdeMacu	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u				A	uv	u	u



		NumExuS					NumExuS		
		P	C	M			P	C	M
BriArte	Z	s	uv	u	EdePapi	Z	s	uv	u
	A	uv	u	u		A	uv	u	u

		ExuSua					ExuSua					ExuSua		
		Z	A				Z	A				Z	A	
NumExuS	P	s	uv		ExuDur	Z	s	uv		NumExu	P	s	uv	
	C	s	u			A	uv	u			C	uv	u	
	M	s	u				M	u	u					

		ExuSua					ExuSua					ExuSua		
		Z	A				Z	A				Z	A	
RegExuD	MC	u	u		HilCob	Z	s	uv		HilPlat	Z	s	uv	
	C	uv	u			A	uv	u			A	uv	u	
	L	s	uv											

		ExuSua					ExuSua					ExuSua		
		Z	A				Z	A				Z	A	
RegExuS	MC	s	u		VisBorro	Z	s	uv		EdeMacu	Z	s	uv	
	C	s	u			A	uv	u			A	uv	u	
	L	s	uv											

		ExuSua					ExuSua		
		Z	A				Z	A	
BriArte	Z	s	uv		EdePapi	Z	s	uv	
	A	uv	u			A	uv	u	

		ExuDur					ExuDur					ExuDur		
		Z	A				Z	A				Z	A	
NumExu	P	s	uv		RegExuD	MC	s	u		HilCob	Z	s	uv	
	C	s	u			C	s	u			A	uv	u	
	M	s	u			L	s	uv						

		ExuDur					ExuDur					ExuDur		
		Z	A				Z	A				Z	A	
HilPlat	Z	s	uv		RegExuS	MC	u	u		VisBorro	Z	s	uv	
	A	uv	u			C	uv	u			A	uv	u	
						L	s	uv						

		ExuDur					ExuDur					ExuDur		
		Z	A				Z	A				Z	A	
EdeMacu	Z	s	uv		BriArte	Z	s	uv		EdePapi	Z	s	uv	
	A	uv	u			A	uv	u			A	uv	u	

		NumExu						NumExu						
		P	C	M			P	C	M			P	C	M
RegExuD	MC	u	u	u	HilCob	Z	s	uv	u					
	C	uv	u	u		A	uv	u	u					
	L	s	uv	u										

		NumExu						NumExu						
		P	C	M			P	C	M			P	C	M
HilPlat	Z	s	uv	u	RegExuS	MC	u	u	u					
	A	uv	u	u		C	uv	u	u					
						L	s	uv	u					

		NumExu						NumExu						
		P	C	M			P	C	M			P	C	M
VisBorro	Z	s	uv	u	EdeMacu	Z	s	uv	u					
	A	uv	u	u		A	uv	u	u					

		NumExu						NumExu						
		P	C	M			P	C	M			P	C	M
BriArte	Z	s	uv	u	EdePapi	Z	s	uv	u					
	A	uv	u	u		A	uv	u	u					

		HilCob						
		Z	A					
HilPlat	Z	s	uv	RegExuS	MC	u	u	VisBorro
	A	uv	u		C	uv	u	
					L	s	uv	

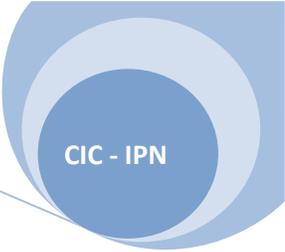
		HilCob						
		Z	A					
EdeMacu	Z	s	uv	BriArte	Z	s	uv	EdePapi
	A	uv	u		A	uv	u	

		RegHemo						
		MC	C	L				
Hemo	Z	s	s	s	NumHemo	P	u	uv
	A	u	u	uv		C	u	u
						M	u	u

		RegHemo						
		MC	C	L				
Preclam	Z	u	uv	s	Feocro	Z	u	uv
	A	u	u	uv		A	u	u

		RegHemo						
		MC	C	L				
ExuSua	Z	u	uv	s	NumExuS	P	u	uv
	A	u	u	uv		C	u	uv
						M	u	u

		RegHemo						
		MC	C	L				
ExuDur	Z	u	uv	s	NumExu	P	u	uv
	A	u	u	uv		C	u	uv
						M	u	u



		RegHemo		
		MC	C	L
RegExuD	MC	u	u	u
	C	u	u	uv
	L	u	uv	s

		RegHemo		
		MC	C	L
HilCob	Z	u	uv	s
	A	u	u	uv

		RegHemo		
		MC	C	L
HilPlat	Z	u	uv	s
	A	u	u	uv

		RegHemo		
		MC	C	L
RegExuS	MC	u	u	u
	C	u	u	uv
	L	u	uv	s

		RegHemo		
		MC	C	L
VisBorro	Z	u	uv	s
	A	u	u	uv

		RegHemo		
		MC	C	L
EdeMacu	Z	u	uv	s
	A	u	u	uv

		RegHemo		
		MC	C	L
BriArte	Z	u	uv	s
	A	u	u	uv

		RegHemo		
		MC	C	L
EdePapi	Z	u	uv	s
	A	u	u	uv

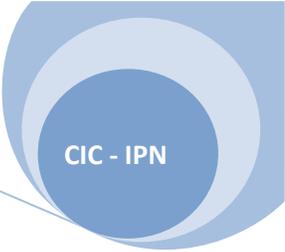
		HilPlat	
		Z	A
RegExuS	MC	u	u
	C	uv	u
	L	s	uv

		HilPlat	
		Z	A
VisBorro	Z	s	uv
	A	uv	u

		HilPlat	
		Z	A
EdeMacu	Z	s	uv
	A	uv	u

		HilPlat	
		Z	A
BriArte	Z	s	uv
	A	uv	u

		HilPlat	
		Z	A
EdePapi	Z	s	uv
	A	uv	u



		RegExuD					RegExuD			
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
HilCob	<i>Z</i>	u	uv	s	HilPlat	<i>Z</i>	u	uv	s	
	<i>A</i>	u	u	uv		<i>A</i>	u	u	uv	

		RegExuD					RegExuD			
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
RegExuS	<i>MC</i>	u	u	u	VisBorro	<i>Z</i>	u	uv	s	
	<i>C</i>	u	u	uv		<i>A</i>	u	u	uv	
	<i>L</i>	u	uv	s						

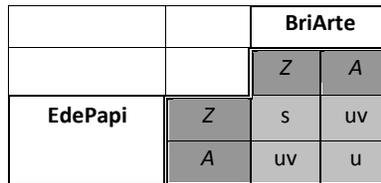
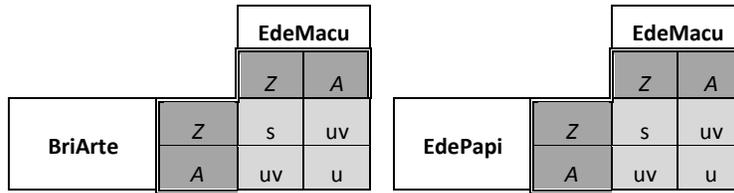
		RegExuD					RegExuD			
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
EdeMacu	<i>Z</i>	u	uv	s	BriArte	<i>Z</i>	u	uv	s	
	<i>A</i>	u	u	uv		<i>A</i>	u	u	uv	

		RegExuD			
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
EdePapi	<i>Z</i>	u	uv	s	
	<i>A</i>	u	u	uv	

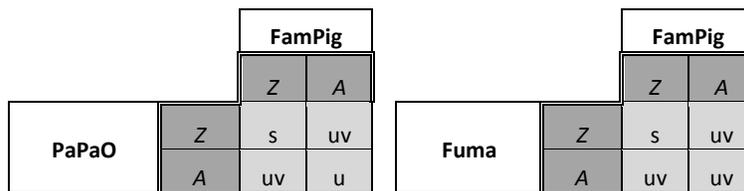
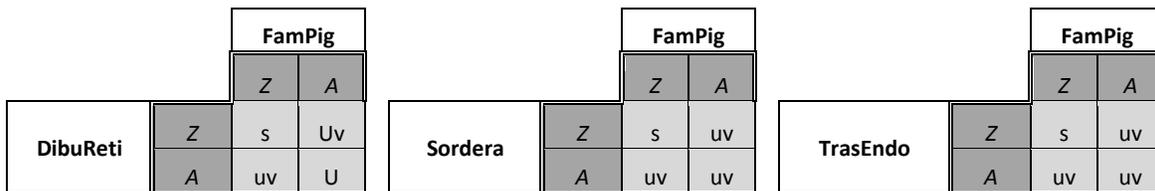
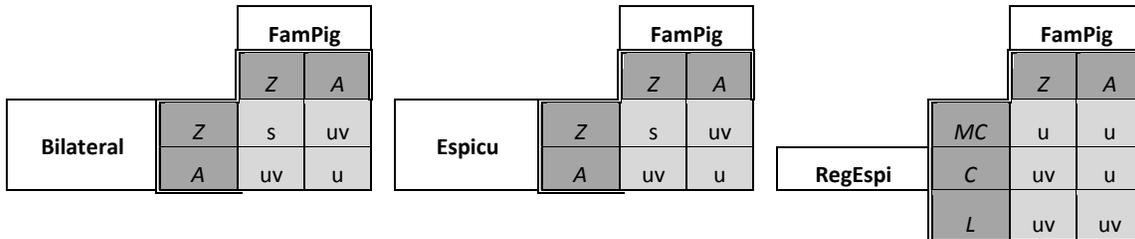
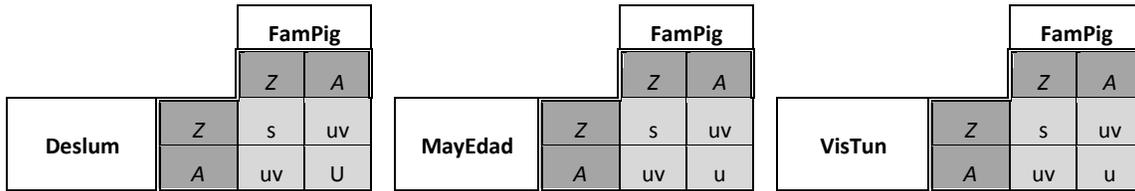
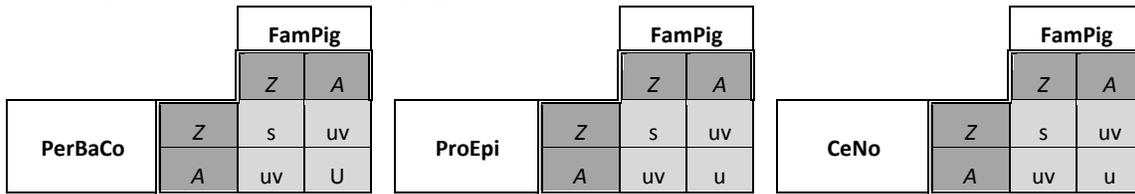
		RegExuS					RegExuS			
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
VisBorro	<i>Z</i>	u	uv	s	EdeMacu	<i>Z</i>	u	uv	s	
	<i>A</i>	u	u	uv		<i>A</i>	u	u	uv	

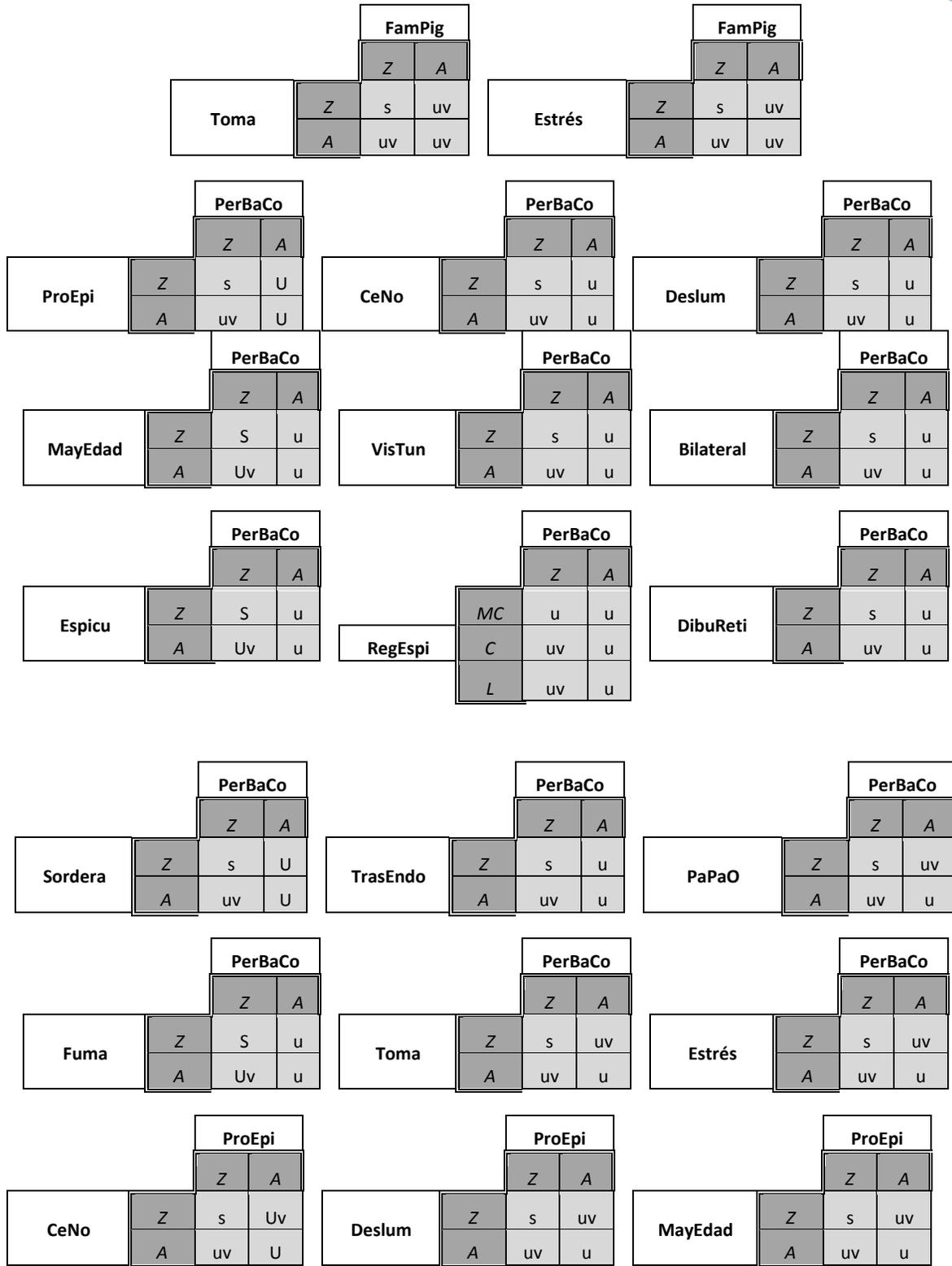
		RegExuS					RegExuS			
			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>			<i>MC</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
BriArte	<i>Z</i>	u	uv	s	EdePapi	<i>Z</i>	u	uv	s	
	<i>A</i>	u	u	uv		<i>A</i>	u	u	uv	

		VisBorro				VisBorro				VisBorro	
		<i>Z</i>	<i>A</i>			<i>Z</i>	<i>A</i>			<i>Z</i>	<i>A</i>
EdeMacu	<i>Z</i>	s	Uv	BriArte	<i>Z</i>	s	uv	EdePapi	<i>Z</i>	s	uv
	<i>A</i>	uv	U		<i>A</i>	uv	u		<i>A</i>	uv	u



FAMs para la retinosis pigmentaria





		ProEpi				ProEpi				ProEpi	
		Z	A			Z	A			Z	A
VisTun	Z	s	Uv	Bilateral	Z	s	uv	Espicu	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u		A	uv	u

		ProEpi				ProEpi				ProEpi	
		Z	A			Z	A			Z	A
RegEsp	MC	u	u	DibuReti	Z	s	uv	Sordera	Z	s	uv
	C	uv	u		A	uv	u		A	uv	u
	L	uv	uv								

		ProEpi				ProEpi				ProEpi	
		Z	A			Z	A			Z	A
TrasEndo	Z	s	uv	PaPaO	Z	s	uv	Fuma	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u		A	uv	u

		ProEpi				ProEpi	
		Z	A			Z	A
Toma	Z	s	uv	Estrés	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u

		CeNo				CeNo				CeNo	
		Z	A			Z	A			Z	A
Deslum	Z	s	uv	MayEdad	Z	s	uv	VisTun	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u		A	uv	u

		CeNo				CeNo				CeNo	
		Z	A			Z	A			Z	A
Bilateral	Z	s	uv	Espicu	Z	s	uv	RegEsp	MC	u	u
	A	uv	u		A	uv	u		C	uv	u
									L	uv	uv

		CeNo				CeNo				CeNo	
		Z	A			Z	A			Z	A
DibuReti	Z	s	uv	Sordera	Z	s	uv	TrasEndo	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u		A	uv	u

PaPaO	CeNo		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Fuma	CeNo		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Toma	CeNo		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Estrés	CeNo		
	Z	s	uv
	A	uv	u

MayEdad	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

VisTun	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Bilateral	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Espicu	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

RegEspí	Deslum		
	MC	u	u
	C	uv	u
	L	uv	uv

DibuReti	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Sordera	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

TrasEndo	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

PaPaO	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Fuma	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	uv

Toma	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	uv

Estrés	Deslum		
	Z	s	uv
	A	uv	uv

VisTun	MayEdad		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Bilateral	MayEdad		
	Z	s	uv
	A	uv	u

Espicu	MayEdad		
	Z	s	Uv
	A	uv	U

		MayEdad				MayEdad				MayEdad	
		Z	A			Z	A			Z	A
RegEsp	<i>MC</i>	u	u	DibuReti	Z	s	uv	Sordera	Z	s	uv
	<i>C</i>	uv	u		A	uv	u		A	uv	uv
	<i>L</i>	uv	uv								

		MayEdad				MayEdad				MayEdad	
		Z	A			Z	A			Z	A
TrasEndo	Z	s	uv	PaPaO	Z	s	uv	Fuma	Z	s	uv
	A	uv	uv		A	uv	u		A	uv	uv

		MayEdad				MayEdad	
		Z	A			Z	A
Toma	Z	s	uv	Estrés	Z	s	uv
	A	uv	uv		A	uv	uv

		VisTun				VisTun				VisTun	
		Z	A			Z	A			Z	A
Bilateral	Z	s	uv	Espicu	Z	s	uv	RegEsp	<i>MC</i>	u	u
	A	uv	u		A	uv	u		<i>C</i>	uv	u
										<i>L</i>	uv

		VisTun				VisTun				VisTun	
		Z	A			Z	A			Z	A
DibuReti	Z	s	uv	Sordera	Z	s	uv	TrasEndo	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u		A	uv	u

		VisTun				VisTun	
		Z	A			Z	A
PaPaO	Z	s	uv	Fuma	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u

		VisTun				VisTun	
		Z	A			Z	A
Toma	Z	s	uv	Estrés	Z	s	uv
	A	uv	u		A	uv	u

Espicu	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td>u</td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv	u	A	uv	u		RegEspí	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>MC</td><td>u</td><td>u</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr><tr><td>L</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	MC	u	u		C	uv	u		L	uv	uv		DibuReti	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u									
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv	u																																																														
A	uv	u																																																															
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
MC	u	u																																																															
C	uv	u																																																															
L	uv	uv																																																															
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
Sordera	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u		TrasEndo	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u		PaPaO	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u													
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
Fuma	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv		A	uv	uv		Toma	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv		A	uv	uv		Estrés	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Bilateral</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			Bilateral				Z	A	Z	s	uv		A	uv	uv													
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	uv																																																															
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	uv																																																															
		Bilateral																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	uv																																																															
RegEspí	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>MC</td><td>u</td><td>u</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr><tr><td>L</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	MC	u	u		C	uv	u		L	uv	uv		DibuReti	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u		Sordera	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u									
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
MC	u	u																																																															
C	uv	u																																																															
L	uv	uv																																																															
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
TrasEndo	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u		PaPaO	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u		Fuma	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u													
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
Toma	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u		Estrés	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="2">Espicu</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Z</td><td>A</td></tr><tr><td>Z</td><td>s</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>uv</td><td>u</td><td></td></tr></table>			Espicu				Z	A	Z	s	uv		A	uv	u																															
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
		Espicu																																																															
		Z	A																																																														
Z	s	uv																																																															
A	uv	u																																																															
DibuReti	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="3">RegEspí</td></tr><tr><td></td><td></td><td>MC</td><td>C</td><td>L</td></tr><tr><td>Z</td><td>u</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>u</td><td>u</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			RegEspí					MC	C	L	Z	u	uv	uv		A	u	u	uv		Sordera	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="3">RegEspí</td></tr><tr><td></td><td></td><td>MC</td><td>C</td><td>L</td></tr><tr><td>Z</td><td>u</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>u</td><td>u</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			RegEspí					MC	C	L	Z	u	uv	uv		A	u	u	uv		TrasEndo	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td colspan="3">RegEspí</td></tr><tr><td></td><td></td><td>MC</td><td>C</td><td>L</td></tr><tr><td>Z</td><td>u</td><td>uv</td><td>uv</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td>u</td><td>u</td><td>uv</td><td></td></tr></table>			RegEspí					MC	C	L	Z	u	uv	uv		A	u	u	uv	
		RegEspí																																																															
		MC	C	L																																																													
Z	u	uv	uv																																																														
A	u	u	uv																																																														
		RegEspí																																																															
		MC	C	L																																																													
Z	u	uv	uv																																																														
A	u	u	uv																																																														
		RegEspí																																																															
		MC	C	L																																																													
Z	u	uv	uv																																																														
A	u	u	uv																																																														

	RegEspí		
	MC	C	L
PaPaO	Z	u	uv
	A	u	uv

	RegEspí		
	MC	C	L
Fuma	Z	u	uv
	A	u	uv

	RegEspí		
	MC	C	L
Toma	Z	u	uv
	A	u	uv

	RegEspí		
	MC	C	L
Estrés	Z	u	uv
	A	u	uv

	DibuReti	
	Z	A
Sordera	Z	s
	A	uv

	DibuReti	
	Z	A
TrasEndo	Z	s
	A	uv

	DibuReti	
	Z	A
PaPaO	Z	s
	A	uv

	DibuReti	
	Z	A
Fuma	Z	s
	A	uv

	DibuReti	
	Z	A
Toma	Z	s
	A	uv

	DibuReti	
	Z	A
Estrés	Z	s
	A	uv

	Sordera	
	Z	A
TrasEndo	Z	s
	A	uv

	Sordera	
	Z	A
PaPaO	Z	s
	A	uv

	Sordera	
	Z	A
Fuma	Z	s
	A	uv

	Sordera	
	Z	A
Toma	Z	s
	A	uv

	Sordera	
	Z	A
Estrés	Z	s
	A	uv

	TrasEndo	
	Z	A
PaPaO	Z	s
	A	uv

	TrasEndo	
	Z	A
Fuma	Z	s
	A	uv

	TrasEndo	
	Z	A
Toma	Z	s
	A	uv

	TrasEndo	
	Z	A
Estrés	Z	s
	A	uv

	PaPaO	
	Z	A
Fuma	Z	s
	A	uv

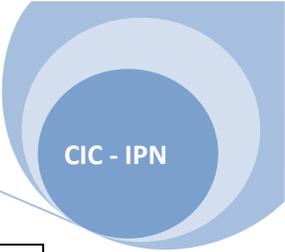
	PaPaO	
	Z	A
Toma	Z	s
	A	uv

	PaPaO	
	Z	A
Estrés	Z	s
	A	uv

	Fuma	
	Z	A
Toma	Z	s
	A	uv

	Fuma	
	Z	A
Estrés	Z	s
	A	uv

	Toma	
	Z	A
Estrés	Z	s
	A	uv



FAMs para la DMDE

		VisBorCe				VisBorCE					
		Z	A			Z	A				
PerDiCol	Z	S	uv	Drusas	Z	s	uv	RegDrusa	MC	u	u
	A	U	u		A	uv	u		C	u	u
									L	uv	uv

		VisBorCE				VisBorCE				VisBorCE	
		Z	A			Z	A			Z	A
RegHemo	MC	U	u	Edad	AJ	s	uv	NeMaLuz	Z	s	uv
	C	U	u		AM	s	uv		A	uv	u
	L	U	u		A	uv	u				

		VisBorCE				VisBorCE				VisBorCE	
		Z	A			Z	A			Z	A
Genero	M	S	uv	OColCla	Z	s	uv	Fuma	Z	s	uv
	F	S	u		A	uv	u		A	uv	u

		VisBorCE				VisBorCE				VisBorCE	
		Z	A			Z	A			Z	A
Hemo	Z	s	uv	ExuDur	Z	s	uv	RegExuD	MC	u	u
	A	u	u		A	uv	u		C	uv	u
									L	uv	uv

		PerDiCol				PerDiCol				PerDiCol	
		Z	A			Z	A			Z	A
Drusas	Z	S	uv	RegDrusa	MC	u	u	RegHemo	MC	u	u
	A	Uv	u		C	uv	u		C	u	u
					L	uv	uv		L	u	u

		PerDiCol				PerDiCol				PerDiCol	
		Z	A			Z	A			Z	A
Edad	AJ	S	uv	NeMaLuz	Z	s	uv	Genero	M	s	uv
	AM	S	u		A	uv	uv		F	s	uv
	A	Uv	u								

		PerDiCol				PerDiCol				PerDiCol	
		Z	A			Z	A			Z	A
OColCla	Z	S	uv	Fuma	Z	s	uv	Hemo	Z	s	uv
	A	Uv	u		A	uv	u		A	u	u

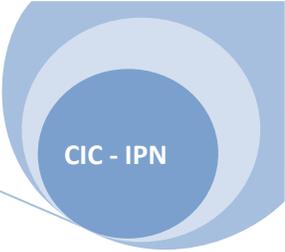
		PerDiCol				PerDiCol	
		Z	A			Z	A
ExuDur	Z	s	uv	RegExuD	MC	u	u
	A	uv	u		C	uv	u
					L	uv	uv

		Drusas				Drusas				Drusas	
		Z	A			Z	A			Z	A
RegDrusa	MC	S	u	RegHemo	MC	u	u	Edad	AJ	s	uv
	C	S	u		C	u	u		AM	s	uv
	L	S	uv		L	u	u		A	uv	u

		Drusas				Drusas				Drusas	
		Z	A			Z	A			Z	A
NeMaLuz	Z	S	uv	Genero	M	s	uv	OColCla	Z	s	uv
	A	Uv	u		F	s	uv		A	uv	u

		Drusas				Drusas				Drusas	
		Z	A			Z	A			Z	A
Fuma	Z	S	uv	Hemo	Z	s	uv	ExuDur	Z	s	uv
	A	Uv	u		A	u	u		A	uv	u

		Drusas	
		Z	A
RegExuD	MC	u	u
	C	uv	u
	L	uv	uv



		RegDrusa		
		MC	C	L
RegHemo	MC	u	u	u
	C	u	u	u
	L	u	u	u

		RegDrusa		
		MC	C	L
Edad	AJ	uv	uv	uv
	AM	u	uv	uv
	A	u	u	uv

		RegDrusa		
		MC	C	L
NeMaLuz	Z	u	uv	uv
	A	u	u	uv

		RegDrusa		
		MC	C	L
Genero	M	uv	uv	uv
	F	u	u	uv

		RegDrusa		
		MC	C	L
OColCla	Z	u	uv	uv
	A	u	u	uv

		RegDrusa		
		MC	C	L
Fuma	Z	u	uv	uv
	A	u	u	uv

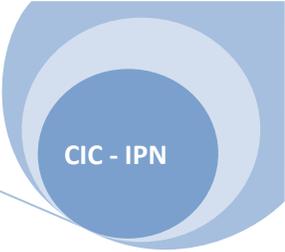
		RegDrusa		
		MC	C	L
Hemo	Z	u	uv	uv
	A	u	u	u

		RegDrusa		
		MC	C	L
ExuDur	Z	u	uv	uv
	A	u	u	uv

		RegDrusa		
		MC	C	L
RegExuD	MC	u	u	u
	C	u	u	uv
	L	u	uv	uv

		RegHemo		
		MC	C	L
Edad	AJ	u	u	u
	AM	u	u	u
	A	u	u	u

		RegHemo		
		MC	C	L
NeMaLuz	Z	u	u	u
	A	u	u	u



		RegHemo		
		MC	C	L
Genero	M	u	u	u
	F	u	u	u

		RegHemo		
		MC	C	L
OColCla	Z	u	u	u
	A	u	u	u

		RegHemo		
		MC	C	L
Fuma	Z	u	u	u
	A	u	u	u

		RegHemo		
		MC	C	L
Hemo	Z	u	u	u
	A	u	u	u

		RegHemo		
		MC	C	L
ExuDur	Z	u	u	u
	A	u	u	u

		RegHemo		
		MC	C	L
RegExuD	MC	u	u	u
	C	u	u	u
	L	u	u	u

		Edad		
		AJ	AM	A
NeMaLuz	Z	s	uv	uv
	A	uv	uv	u

		Edad		
		AJ	AM	A
Genero	M	s	uv	uv
	F	s	uv	u

		Edad		
		AJ	AM	A
OColCla	Z	s	uv	uv
	A	s	uv	uv

		Edad		
		AJ	AM	A
Fuma	Z	s	uv	uv
	A	uv	uv	uv

		Edad		
		AJ	AM	A
Hemo	Z	s	S	uv
	A	u	U	u

		Edad		
		AJ	AM	A
ExuDur	Z	s	uv	uv
	A	uv	uv	u

		Edad		
		AJ	AM	A
RegExuD	MC	uv	u	u
	C	uv	uv	u
	L	uv	uv	uv

Genero	NeMaLuz			OColCla	NeMaLuz			Fuma	NeMaLuz		
	M	S	uv		Z	s	uv		Z	s	uv
	F	S	uv		A	uv	u		A	uv	u

Hemo	NeMaLuz			ExuDur	NeMaLuz			RegExuD	NeMaLuz		
	Z	s	uv		Z	s	uv		MC	u	u
	A	u	u		A	uv	u		C	uv	u
							L	uv	uv		

OColCla	Genero			Fuma	Genero			Hemo	Genero		
	Z	S	s		Z	s	s		Z	s	s
	A	Uv	uv		A	uv	uv		A	u	u

ExuDur	Genero			RegExuD	Genero		
	Z	s	s		MC	u	u
	A	uv	u		C	uv	u
				L	uv	uv	

Fuma	OColCla			Hemo	OColCla			ExuDur	OColCla		
	Z	S	uv		Z	s	uv		Z	s	uv
	A	Uv	uv		A	u	u		A	uv	u

RegExuD	OColCla		
	MC	u	u
	C	uv	u
	L	uv	uv

