



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**Criterios Para La Determinación De Los Valores Máximos
Permisibles En La Limpieza Del Cielo Para La Observación
Astrofísica Óptica**

**Caso de Estudio: Observatorio Astrofísico “Guillermo Haro”
Cananea, Sonora, México**

TRABAJO ESCRITO

Para obtener el diploma en la:

ESPECIALIZACION EN DESARROLLO SUSTENTABLE

Presenta:

Manuel Patricio Estévez Nénninger

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	
SUMEN.....	
OBJETIVOS.....	
INTRODUCCION	
EL CIELO PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD	
a Unión Astronómica Internacional.....	
a Astronomía en México.....	
EL OBSERVATORIO ASTROFISICO “GUILLERMO HARO”	
Archipiélago Terrestre de Islas del Cielo.....	
ACUERDO DE COLABORACION EMPRESA MINERA-INAOE	
Efecto de las Vibraciones.....	
Transparencia y Oscuridad del Cielo de Fondo	
Contaminación Por Polvos y Emisiones Químicas.....	
Contaminación Electromagnética	
RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCION DEL	
EL OBSERVATORIO	
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA.....	
INDICES	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Edificio del Observatorio Astronómico “Guillermo Haro”.	10
Figura 2. Telescopio Ritchey – Chrétien de 40 toneladas.	13
Figura 3. Galaxia activa NGC 1068.	14
Figura 4. Gráfica histórica que contiene el número de noches observadas.	15
Figura 5. “Archipiélago terrestre de islas del cielo”.	18
Figura 6. Imagen del telescopio gran binocular.	19
Figura 7. Esquema que muestra los puntos de medición sismológica.	24
Figura 8. Plano con la Ubicación de la Exposiciones Piloto.	24
Figura 9. Vista del lado Este Suroeste de la Sierra de la Mariquita.	24
Figura 10. Modelo de dispersión de Partículas Suspendidas Totales.	24
Figura 11. Destrucción de la Capa Vegetal a 3 Km. del Observatorio.	30
Figura 12. Principales Contaminantes Luminosos Nocturnos.	33
Figura 13. Vista Nocturna Completa de Cananea.	33
Figura 14. Iluminación Incorrecta. Iluminación Correcta.	33
Figura 15. Curva de extinción atmosférica	44
Figura 16. Tabla de magnitudes del brillo del cielo.	44

RESUMEN

En este trabajo se exponen las principales acciones adoptadas para determinar las condiciones base existentes antes y después de la operación de una explotación minera, para determinar los valores máximos permisibles de contaminación que garanticen la protección del sitio del Observatorio Astrofísico "Guillermo Haro". Estos valores serán el marco de referencia para la posterior elaboración de las Normas Oficiales, Leyes y Reglamentos para la protección de los sitios para la operación de observatorios astronómicos ópticos.

En el proceso previo se logró la firma de un importante Convenio de Colaboración entre las partes en conflicto, bajo el escrutinio del Instituto Nacional de Ecología, INE, para evaluar los impactos al observatorio causados por polvos, partículas suspendidas, luz y vibraciones.

Para ello se instalaron dos telescopios para monitorear los impactos provenientes de la explotación minera y así determinar los valores máximos permisibles de contaminación en el brillo y limpieza del cielo, en el entendido de que dichos valores no podrían ser superiores a los determinados y aceptados mundialmente por la Unión Astronómica Internacional para el correcto funcionamiento del telescopio óptico y demás instrumentos del observatorio.

Se aceptó de común acuerdo entre el observatorio, la empresa minera y la autoridad ambiental, que al entrar en operación la mina y de existir una emisión de contaminantes que rebasen los límites y degraden la calidad de imagen, la empresa minera tendría que tomar acciones correctivas para revertir, prevenir y eliminar los impactos causados.

Al analizar los resultados de los estudios realizados hasta la fecha para la protección del observatorio, se encontraron elementos suficientes para justificar la elaboración posterior de las Normas Oficiales Mexicanas de protección a observatorios ópticos y para la elaboración de nuevas leyes y reglamentos relativos a la limpieza del cielo.

OBJETIVOS

- Analizar e interpretar los datos de las mediciones realizadas para determinar las condiciones base existentes antes de la operación de la explotación de minado a cielo abierto, en cuanto a vibraciones, polvos, extinción atmosférica y brillo del cielo
- Determinar los valores máximos permisibles de impacto y contaminación, una vez que entre en operación la explotación minera, aplicando los mecanismos de medición establecidos en las Cláusulas del Convenio de Colaboración, firmado entre las partes involucradas, para eliminar las fuentes de la contaminación causada por polvos, luminosidad y vibraciones.
- Tomar como punto de partida las condicionantes para no afectar la actividad del Observatorio Astrofísico “Guillermo Haro”, incluidas en la Manifestación de Impacto Ambiental, presentada por la explotación de minado a cielo abierto, ubicada a 3 Kilómetros de distancia de dicho observatorio.
- Aportar los fundamentos del marco de referencia técnica para la elaboración posterior de las Normas Oficiales, Leyes y Reglamentos, para la protección de los sitios actuales y potenciales de observatorios ópticos.
- Valorar la contaminación química de la atmósfera proveniente de gases y sustancias residuales, de potencial impacto para el observatorio.

INTRODUCCION

El Observatorio Astrofísico "Guillermo Haro", fue inaugurado en 1987 y cuenta con un telescopio Ritchey-Chrétien F/12, de 2.12 m de diámetro y es uno de los dos únicos observatorios profesionales que existen en México.

Desde 1995 el observatorio enfrenta la potencial amenaza de contaminación por parte de una explotación minera, cuyo sistema de minado a cielo abierto, operará a sólo 3 Kilómetros de distancia en línea recta.

Ante la inexistencia de Normas Oficiales Mexicanas y de leyes que garanticen la protección a observatorios astrofísicos, se están llevando a cabo mediciones preliminares, tendientes a la protección de la atmósfera en el sitio del observatorio. Dichos estudios y esfuerzos surgieron de la necesidad de minimizar y evitar los impactos perturbadores a la atmósfera, generados por la explotación minera ya citada.

De no haberse actuado oportunamente se hubiera arriesgado la continuidad del trabajo del observatorio y se hubieran cancelado proyectos de investigación astrofísica de importancia nacional e internacional. Por ello, se implementarán dos importantes documentos para evaluar y prevenir los impactos. Dichos documentos son: Las condicionantes impuestas a la Manifestación de Impacto ambiental presentada por la empresa minera y la firma del Convenio de colaboración entre dicha empresa y el INAOE. Para prevenir la contaminación atmosférica generada por polvos, luminosidad y vibraciones. (1, 2, 3, 4).

Por otra parte, como medida complementaria adicional a la protección del cielo derivada del convenio anterior, se logró regularizar la tenencia del terreno que alberga al observatorio desde 1978, cuando se iniciaron las obras para su

construcción. Se trata de dos acuerdos estatales y dos decretos federales, ejecutados en Octubre de 1997 y Agosto de 1998 respectivamente, para la expropiación por causa de utilidad pública de 2,196 hectáreas de terrenos ubicados por arriba de los 1,800 metros de altura sobre el nivel del mar, destinados a crear un área de protección para asegurar la limpieza del cielo en el sitio del observatorio. Las causas de utilidad pública que justificaron la expropiación, introduce nuevos conceptos relativos a la limpieza del cielo, para la protección a observatorios astrofísicos que se basan en las recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional para la identificación y protección de los sitios actuales y potenciales para la observación astronómica (5) Además de sensibilizar a la comunidad nacional sobre la necesidad de adoptar instrumentos jurídicos de protección a observatorios como los que existen en otros países.

EL CIELO PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

Imaginemos por un momento que no hubiera existido la luna para iluminar nuestras noches. ¿Podríamos soñar igual? ¿Podría el ganso encontrar su camino en la búsqueda de refugio y alimento durante sus vuelos migratorios de invierno? ¿Reposarían silenciosamente los océanos frente a las costas? Imaginemos un poco más allá, si la tierra fuera más pequeña y menos densa de lo que realmente es; o si fuera más grande, ¿serían más suaves los vientos en primavera? Por el contrario, ¿causaría el inicio de implacables condiciones de mal clima? ¿Qué pasaría si el sol brillara con más intensidad, o más debilidad? ¿No habría nieves en el invierno, o se desataría una guerra interminable de tormentas de hielo contra la vida en la tierra? ¿Si el sol produjera su energía de manera inestable como sucede en la mayoría de nuestras estrellas vecinas, ¿hubiera sido posible la evolución y permanencia de la vida en la tierra?

En este que conocemos como “el mejor de los Universos posibles”, ¿hubiera sido posible que la vida evolucionara en cualquier otra parte de nuestro sistema solar?

Imaginemos la existencia de otros mundos en otros sistemas solares. Imaginemos, la miríada de posibilidades de vida no sólo en nuestro planeta, sino en el espacio exterior en otras estrellas y galaxias.

Estas preguntas que estimulan nuestra imaginación, están inspiradas por la reciente publicación del libro, “World Without End”, de John S. Lewis (6), que coincide con los recientes y extraordinarios descubrimientos de cuerpos planetarios, que orbitan alrededor de estrellas vecinas. El autor demuestra que pequeños y sutiles cambios en la generación energética del sol, o pequeñas diferencias en la masa y

composición del planeta, pequeños cambios en la inclinación del eje excéntrico de la Tierra o de cualquier otro planeta, pueden producir impactos dramáticos en las posibilidades de vida y de su evolución. Hoy sabemos que la naturaleza cualitativa esencial de la biosfera terrestre es la de poder transformar las radiaciones del cosmos en energía terrestre activa: eléctrica, química, mecánica y térmica. Los rayos solares determinan las características de la biosfera que a través de la materia viviente transforman la energía radiante en compuestos químicos que forman parte esencial de la estructura terrestre.

Debido a que la astronomía moderna trabaja en la detección de señales cósmicas muy débiles, es especialmente sensible y vulnerable a la contaminación ambiental. De ahí que los observatorios sean “monitores tempranos” que alertan sobre los perniciosos efectos de la degradación del suelo y la deforestación.

La protección a observatorios es un valioso punto de referencia altamente interdisciplinario para todos aquellos preocupados por la protección del ambiente desde una visión superior. Tal como lo hacen James Lovelock y la profesora Lynn Margulis, al rescatar los conceptos originales del científico ruso Vladimir Vernadski, la “biogeoquímica” y la “biosfera”, como herramientas científicas que utilizan en las investigaciones para corroborar experimentalmente las posibilidades de vida en otros planetas, especialmente en Marte (7). La revolucionaria teoría de “La Biosfera” y la nueva ciencia denominada “biogeoquímica”, se dieron a conocer por primera vez en 1926 por el citado Vernadski (8). Sus trabajos son el resultado de la amplitud de sus investigaciones, que lo llevaron a integrar en un solo cuerpo conceptual todas las ciencias de la tierra: biología, geología, química y la nueva rama que en aquel momento se denominó bioquímica.

Este nuevo conjunto de disciplinas científicas permitió vincular el conocimiento de la materia viviente en sus interacciones con la materia proveniente de las ondas cósmicas que se encuentran por encima del planeta. Significativamente,

Vernadski se adelantó a la época de la exploración aeroespacial y a la moderna astrofísica, cuando en 1926 afirmó: "... la superficie de la Tierra contemplada desde las profundidades del espacio sideral se hace visible cuando recibe luz de los cuerpos celestes, particularmente del sol. La biósfera recibe una infinita diversidad de radiaciones, de las cuales sólo podemos ver las luminosas, que representan una parte insignificante del espectro total. Así, el fenómeno de la biósfera sólo lo podemos entender como parte del vínculo que la une con los mecanismos enteros del cosmos..."

La astronomía es la ciencia más antigua; comienza con la primera mirada del hombre al cielo. Las primeras civilizaciones descubrieron el movimiento de los planetas en comparación con las estrellas fijas. El día, mes y año se concibieron como resultado de la observación de los ciclos de estos cuerpos. La astronomía antigua reconocía siete planetas, incluidos el Sol y la Luna, de los cuales se originó el concepto de semana al dedicar un día para cada uno de ellos. Estos ciclos dieron origen a las estaciones y fueron de gran importancia para la agricultura. A su vez las estrellas fijas fueron esenciales para la navegación. La astronomía se ha desarrollado como una ciencia altamente interdisciplinaria e interactiva con la mayor parte de las ciencias. El descubrimiento de la universalidad de las leyes físicas se originó en la astronomía al tiempo que el hombre superó la creencia de que los cielos eran lugares divinos por incomprensibles.

Esta confianza en el conocimiento, a su vez propició la fuerza de identidad de la ciencia para influir positivamente en el comportamiento de la naturaleza para nuestro beneficio y progreso como especie humana. La revolución industrial nació a partir de esta concepción. La astronomía moderna, en su afán de búsqueda, impulsa la tecnología a sus fronteras y multiplica nuevos descubrimientos en óptica, electrónica, computación y mecánica. Las leyes de la gravitación se dedujeron del

estudio de los cuerpos celestes. Hoy en un vigoroso impulso de audacia, los astrónomos estudian para conocer mas allá del nacimiento de estrellas y galaxias, hacia los orígenes mismos del universo, proceso del cual somos parte, como lo describe Primo Levi en el siguiente poema:

In The Beginning:

*Fellow human beings, to whom a year is a long time,
A century a venerable goal,
Struggling for your bread,
Tired, fretful, tricked, sick, lost
Listen and may it be mockery and consolation.:
Twenty billion years before now,
Brilliant, soaring, in space and time,
There was a ball of flame , solitary, eternal,
Our common father and our executioner.
It exploded, and every change began.
Even now the thin echo of this one reverse catastrophe
Resounds from the farthest reaches.
From that one spasm everything was born:
The same abyss that enfolds and challenges us,
The same time that spawns and defeats us,
Everything anyone has ever thought,
the eyes of a woman we have loved,
Suns by the thousands
And this hand that writes*

*Queridos hermanos, del género humano
A quienes un año les parece mucho tiempo,
Un siglo, una meta venerable
Luchando por tu comida,
Cansado, irritado, engañado, enfermo, extraviado:
Escucha, para que rías o te consueles.
Hace 20 mil millones de años,
Brillante, suspendida en el tiempo y espacio,
Existió una bola de fuego, solitaria y eterna,
Nuestro padre común y nuestro verdugo.
Exploto y se iniciaron todos los cambios.
Los débiles ecos de esta catástrofe ancestral,
Resuenan aún desde las más remotas distancias.
De ese gran espasmo todo nació:
El mismo abismo que nos abraza y nos reta,
El mismo tiempo que nos procrea y nos derrota,
Todo lo que cualquiera haya pensado,
Los negros ojos de la mujer amada,
Soles por millares
Y esta mano que escribe. (9)*

La astronomía nos ha enseñado hechos de significado tan profundo como nuestra posición en la galaxia, así como el origen del nacimiento del universo en la más violenta de las explosiones, hace unos quince mil millones de años. Nos ha enseñado también que todos los elementos, con la excepción del hidrógeno y del helio han sido formados en las estrellas y que la materia de la cual estamos

que vivieron y murieron antes del nacimiento del Sol. Y en este punto del camino, la humanidad se pregunta cuál será el destino del Sol, o si algún asteroide chocará con la Tierra en un futuro cercano, o si el universo se contraerá o se expandirá. Inspiración de artistas, poetas y hombres comunes, compañeras del viajero nocturno, las estrellas nos han enseñado nuestra posición humilde en un universo a la vez ilimitado y finito.

Los astros nos han dado la lectura del tiempo y nos han permitido conocer el origen del sol y los planetas. Han sido una referencia para la navegación marítima y espacial, así como para la cultura, la filosofía y el conocimiento humano. Gracias a ellos sabemos a fin de cuentas que la vida de nuestra estrella, el sol, no es sino la vida de una estrella más dentro de las miles de millones que hay en nuestra galaxia y a su vez, nuestra galaxia, es sólo una de las miles de millones de galaxias existentes en el universo. Gracias al estudio de los astros y a pesar de nuestra humilde posición en el universo podemos apreciar que somos una especie consciente de sí misma, autoconsciente, a la fecha la única especie capaz de verse y conocerse introspectivamente en la compleja vastedad de la evolución temporal del cosmos (19, 20).

La Unión Astronómica Internacional

México es signatario de la declaración que establece al cielo nocturno como patrimonio de la humanidad. En julio de 1992, la Unión Astronómica Internacional, organismo que agrupa a los astrónomos del mundo, organizó una reunión para abordar la creciente problemática de los impactos ambientales adversos en sitios de observación astronómica.

Dicha conferencia se organizó en París bajo el patrocinio de la UNESCO, el

el Comité para la Investigación Espacial. Se trataba de demostrar que los impactos ambientales adversos a la astronomía amenazaban el futuro de esta ciencia. Se trataba de encontrar salidas a la irónica paradoja entre el gran avance de la civilización contemporánea, cuyos portentosos adelantos tecnológicos dotaban a la astronomía de modernos instrumentos para conocer el origen del universo, pero que al mismo tiempo como consecuencia del crecimiento y desarrollo de la civilización contemporánea, se amenazaba la oportunidad para continuar con la investigación a los planetas, al Sol y hasta los más remotos confines del universo.

El vertiginoso y explosivo crecimiento de ciudades dotadas de una incorrecta iluminación urbana, suburbana e industrial, el aumento del ruido electromagnético derivado de las telecomunicaciones, la basura espacial, e innumerables factores difíciles de prever, comenzaron a afectar crucialmente la observación en sitios ubicados en lugares remotos en los cuales originalmente existían buenas condiciones astronómicas.

Este problema, reflejo de la degradación del medio ambiente en su conjunto, representaba la amenaza de cerrar nuestras ventanas para seguir estudiando profesionalmente al cielo nocturno y perder la referencia de nuestro lugar en el universo.

Como resultado de la mencionada reunión, la UNESCO declaró en 1992 al cielo nocturno como un preciado tesoro Patrimonio de la Humanidad, que nos permite conocer y entender nuestro origen y destino.

En la declaratoria, además de otorgar status especial a los más grandes observatorios del mundo, se exhorta a todos los gobernantes de los países signatarios a dar protección legal a sus principales observatorios y a realizar esfuerzos para preservar y mantener impolutas las condiciones de observación en sus respectivos países (5, 9).

La Astronomía en México

En México, la astronomía por lo menos se remonta a la cultura Olmeca y después a la cultura Maya, que contaban con sofisticados calendarios de 365 días y calculaban los eclipses desde los numerosos observatorios que construyeron.

El Observatorio del Castillo de Chapultepec establecido en 1860 por el Presidente Juárez, fue reubicado a Tacubaya a principios del presente siglo, para cambiarse a Tonanzintla, Puebla, en 1942, por causa de la contaminación lumínica.

Posteriormente, en la década de los setenta, la perturbación de las luces de la cercana ciudad de Puebla, hizo que la astronomía emigrara a la Sierra de San Pedro Mártir en Baja California y a la Sierra de la Mariquita en Cananea, Sonora, en búsqueda de las condiciones de limpieza del cielo que en el centro del país se habían venido cancelado para la observación. El destacado humanista y científico mexicano del siglo XX, doctor Guillermo Haro Barraza, dedicó la última etapa de su fructífera vida a promover e instalar observatorios modernos para el país. Simultáneamente desplegó un visionario programa para que las nuevas generaciones de físicos, astrónomos y técnicos mexicanos obtuviesen maestrías y doctorados en el extranjero con el compromiso de regresar a trabajar en los observatorios mexicanos.

En este ambiente de creatividad, el doctor Haro impulsó el establecimiento del Observatorio Astronómico Nacional ubicado en la Sierra de San Pedro Mártir en Baja California hoy bajo responsabilidad de la UNAM. Su último gran esfuerzo iniciado a los sesenta años de edad, fue la construcción del observatorio de Cananea, que hoy lleva su nombre como valioso legado a los astrónomos mexicanos. Este importante observatorio fue inaugurado en septiembre de 1987 pocos meses antes de su fallecimiento tras 10 años de arduo y creativo trabajo para su terminación. Figura

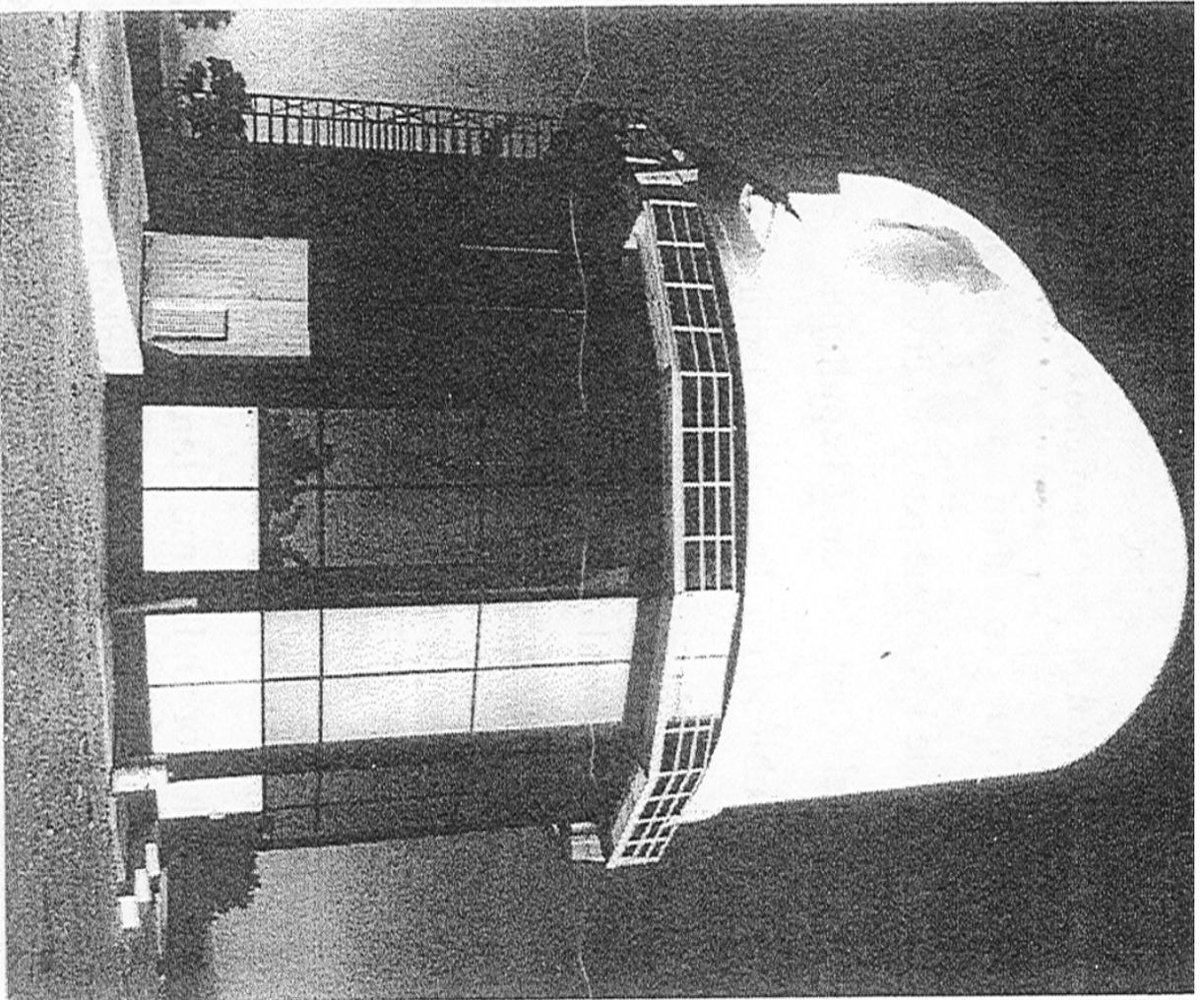


Figura 1. Edificio del Observatorio Astronómico “Guillermo Haro”. Terminado y equipado con el telescopio. Inaugurado el 10 de septiembre de 1987. El edificio mide 24 metros de altura y 15 metros de diámetro. La cúpula pesa 24

OBSERVATORIO ASTROFISICO “GUILLERMO HARO”

México, signatario de la declaratoria de la UNESCO anteriormente citada y país de reconocida tradición en el campo de la astronomía a nivel mundial, carece de la Norma Oficial y de legislación que protejan a nuestros principales telescopios, a pesar de que son de los más importantes en América Latina. En particular, el espejo de 2.12 metros de diámetro del Observatorio Astrofísico “Guillermo Haro” en la Sierra de la “Mariquita” en Cananea, es el único en su género en un país latinoamericano. La manufactura y pulido de su espejo primario, se hizo en los talleres del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, INAOE, y es el espejo más grande hecho en Latinoamérica. Pesa 3 toneladas y la captación de luz equivale a 360 mil ojos humanos juntos. El telescopio en su conjunto pesa 40 toneladas. El edificio mide 24 metros de altura y 15 de diámetro. La cúpula giratoria pesa 42 toneladas.

Las observaciones que realiza el observatorio comprenden los siguientes campos: astronomía estelar; astronomía extragaláctica, galaxias activas y astronomía de altas energías. Además, es un importante centro de entrenamiento y preparación de futuros astrónomos mexicanos en el programa de posgraduados del INAOE, que además recibe astrónomos y estudiantes que provienen de otras instituciones nacionales y del extranjero. El sitio se encuentra en la Sierra de la Mariquita en Cananea, dentro del Archipiélago terrestre montañoso denominado “islas del cielo”; en los estados de Sonora, Arizona, Nuevo México, Baja California y California. Esta área todavía es una de las regiones más favorables para la observación astronómica en México y en Estados Unidos. El número de noches de observación se ha venido incrementando notablemente hasta llegar a 254 noches en 1996. En ese mismo año, se registraron 283 noches de condiciones favorables para la observación, de las cuales 115 se clasificaron como fotométricas, que reúnen

Astrónomos, investigadores y estudiantes del INAOE, Universidad de Sonora, UNAM, Universidad de Guanajuato, así como de Alemania, Inglaterra, Rusia, España, Italia y Eslovenia, utilizan dicho telescopio para estudiar estrellas en formación, galaxias activas, supernovas, cuásares, pulsares e incluso objetos cuya naturaleza es un misterio. Figura 3. Este telescopio, que es el mayor del país, si bien de tamaño mediano en el ámbito mundial opera un promedio anual de 260 noches, ya que el cielo de la Sierra Mariquita, todavía cuenta con una atmósfera limpia transparente y estable. Figura 4.

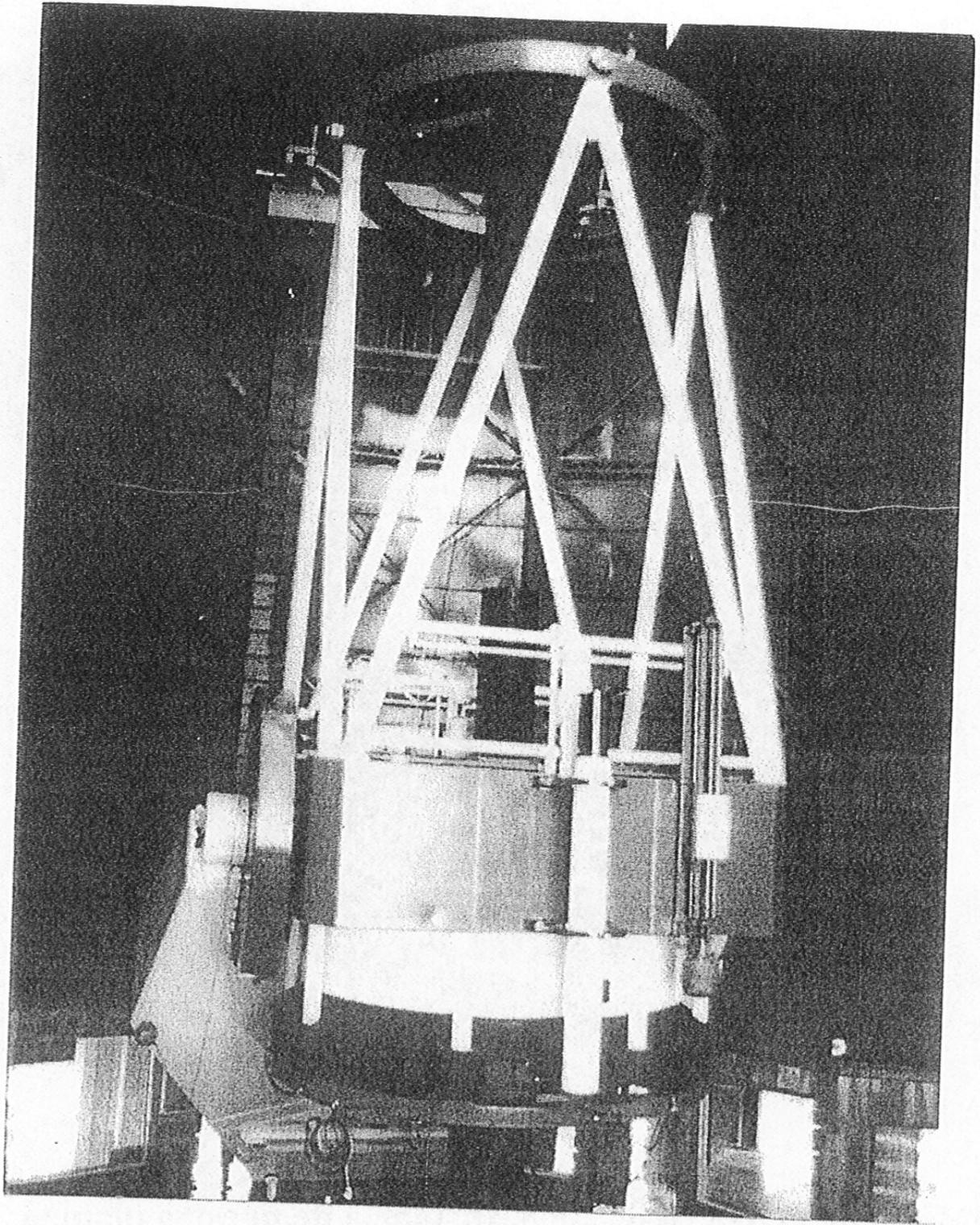


Figura 2. Telescopio Ritchey – Chrétien de 40 toneladas. El espejo primario tiene 2.12 metros de diámetro y pesa 3 toneladas. La captación de luz equivale a mil ojos humanos juntos. (archivo fotográfico INAOE)

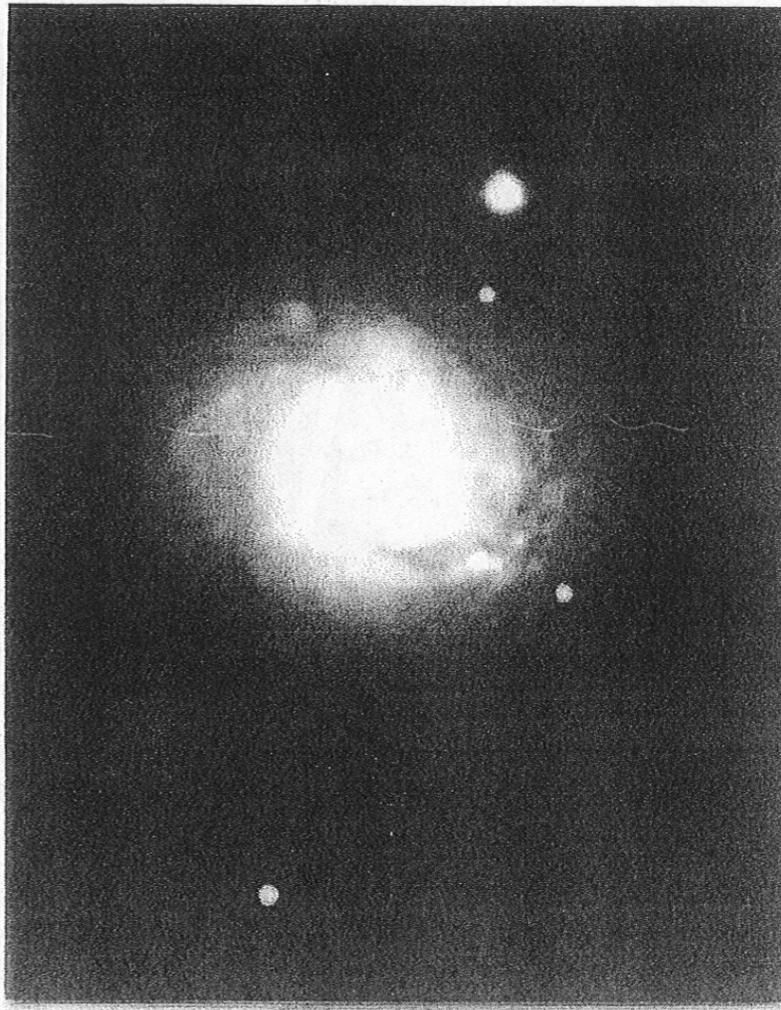


Figura 3. Galaxia activa NGC 1068. Distancia de nuestro planeta: 5 millones de años luz. Imagen captada en el observatorio “Guillermo Haro” (archivo fotográfico INAOE)

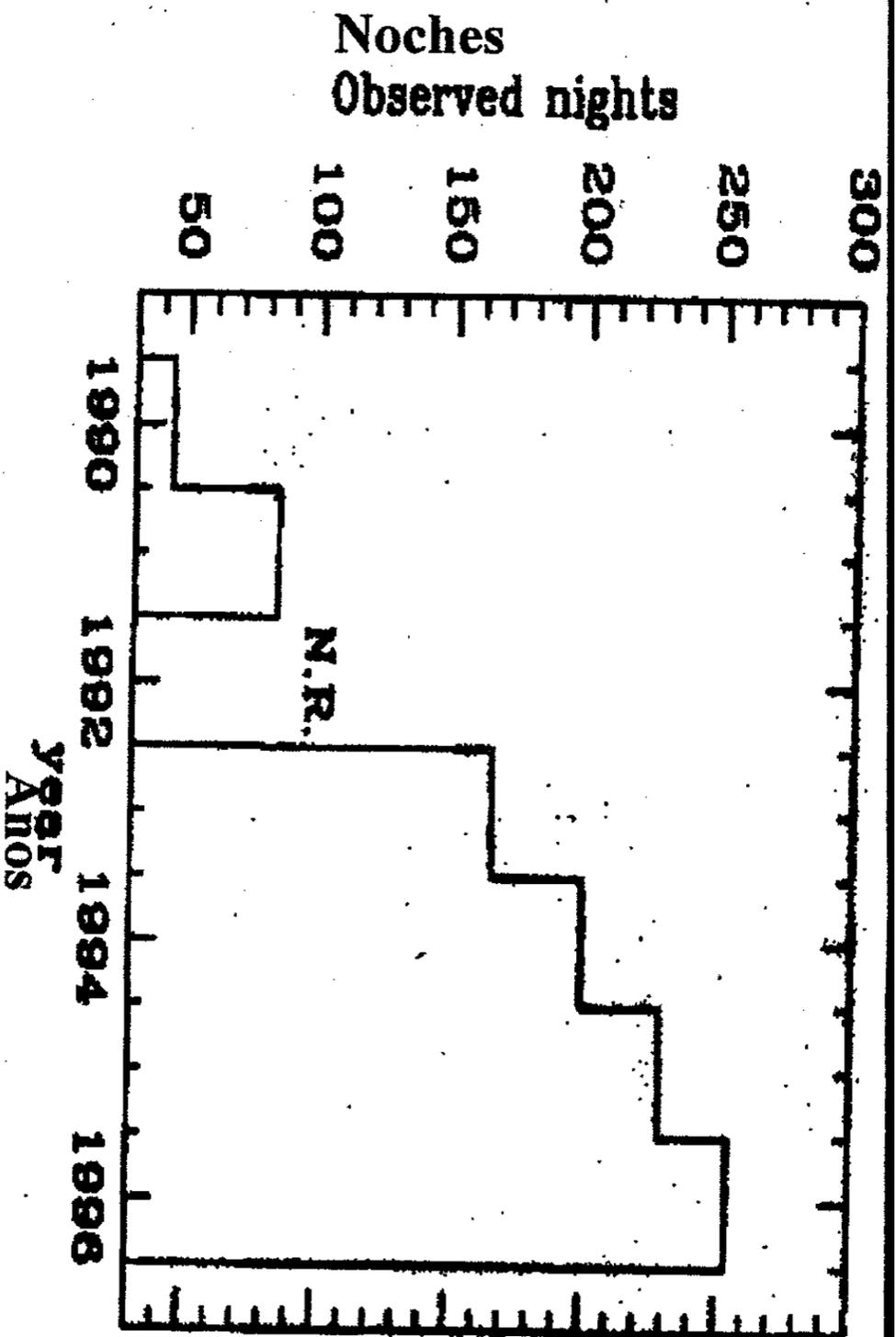


Figura 4. Gráfica histórica que contiene el número de noches observadas. I Observatorio astrofísico “Guillermo Haro” (Año de 1992 no reportado) fu AOE.

Archipiélago Terrestre de Islas del Cielo

Las sierras de la “Mariquita”, la “Elenita” y los “Ajos” en Cananea así como las sierras “Buenos Aires”, “La Púrica” entre Nacoziari y Cananea y otras como la “Sierra Azul”, “El Pinito” y “La Madera” entre Magdalena, Imuris y Nogales, y otras en Bavispe, Bacerac y Huachineras, forman parte del llamado “Archipiélago terrestre de islas del cielo” por ser una singular sucesión de pequeñas montañas de significativa altura, ya que se encuentran arriba de los 2,480 metros sobre el nivel del mar en las que predomina la vegetación de pino-encino, circundadas por mesetas cercanas al desierto. Figura 5.

En su conjunto, esta peculiar formación montañosa que comprende el sureste de Arizona, noreste de Sonora y parte del suroeste de Nuevo México, presente condiciones privilegiadas y óptimas para la observación astronómica: poca basura contaminante por polvos, humos y cielos claros con baja densidad en las columnas de vapor atmosférico, sin turbulencias y todavía con poca contaminación luminosa (10). Esta región aloja a varios de los principales observatorios del mundo; tales como el de Kitt Peak, situado a 55 millas al suroeste de Tucson, sede de casi treinta telescopios, uno de los cuales por su avanzado diseño compacto ha sido considerado por la NASA como fuerte candidato para ser el primero a instalarse en la Luna; el de Mount Hopkins, a 50 millas al sur de Tucson, donde está instalado el multiespejos, perceptible con binoculares desde La Mariquita, y que pronto será reemplazado por el espejo de una sola pieza más grande del mundo, de seis y medio metros de diámetro; así como los de Mt. Lemmon y Mt. Bigelow ubicados en las montañas Catalinas, 30 millas al norte de Tucson; y el observatorio de Mt. Graham, a 150 millas al noreste de Tucson, que alojará tres portentosos telescopios actualmente en construcción: El Gran Telescopio Binocular, de dos espejos

imarios de 8.4 m de diámetro; el Radiotelescopio Submilimétrico de 10 m de diámetro y el Telescopio de Tecnología Avanzada del Vaticano, que es el prototipo de los grandes telescopios ópticos de segunda generación, que operarán entrando en el próximo siglo.

Estos tres telescopios se encuentran en avanzado estado de construcción, a cargo del Laboratorio de Espejos -Mirror Laboratory- del Steward Observatory de la Universidad de Arizona. Figura 6.

Todos ellos serán ubicados en los altos picos del “archipiélago montañoso del sur de Arizona y operarán gracias a diversos instrumentos legales que proteccion a observatorios que se encuentran vigentes en este estado de país vecino.

El director del Observatorio de la Universidad de Arizona, Doctor Peter Strittmatter, define la importancia de estos telescopios: “... El Observatorio Internacional de Mt. Graham alojará a algunos de los más avanzados telescopios cuando, diseñados para lograr trascendentes avances en los descubrimientos sobre el origen y evolución del universo desde su creación a raíz del llamado “Big Bang” que se produjo hace aproximadamente 15 mil millones de años ... La nueva generación de grandes telescopios permitirá explorar las condiciones de la formación temprana del universo mirando hacia atrás en la formación de las galaxias y en la formación de los elementos químicos ... así como en la formación de estrellas y planetas ...” (10, 1)

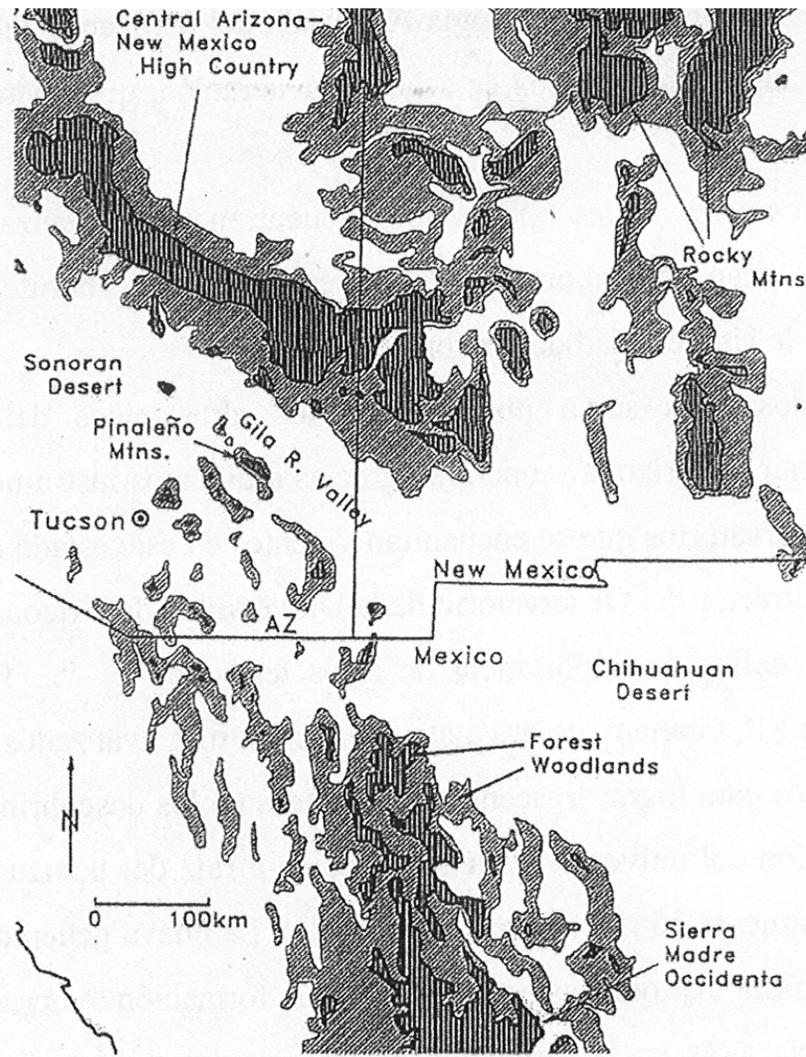
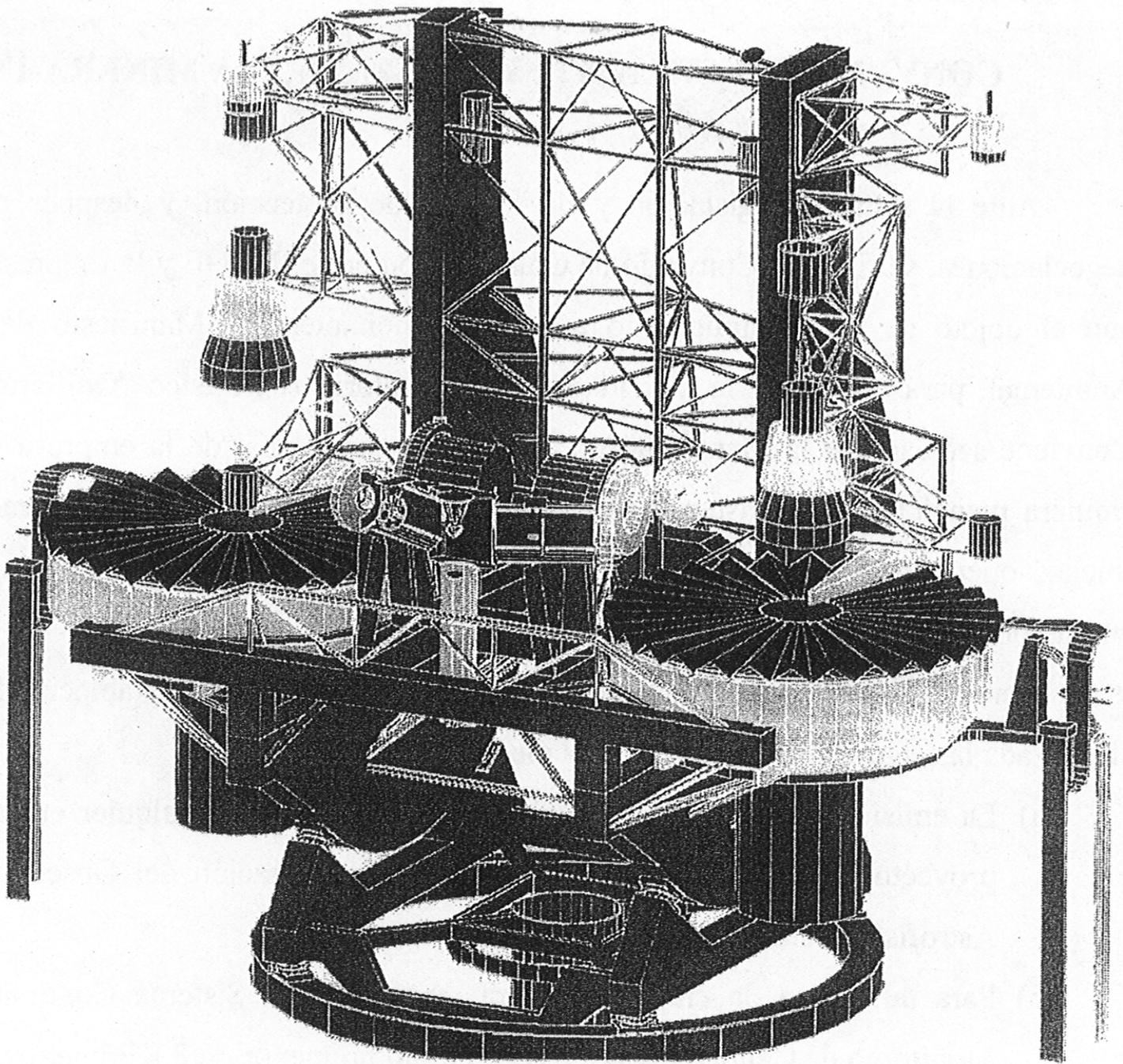


Figura 5. “Archipiélago terrestre de islas del cielo”. En Arizona, Nuevo México y Colorado E.U.A y Sonora, México. Fuente: Istock, C.A., Hoffmann, R.S. 1995 “Storm Over a Mountain Island” the Arizona University Press E.U.A.



ura 6. Imagen del telescopio gran binocular. De 8.4 metros de diámetro pa
a uno de los espejos primarios. Operará en las montañas Pinalaño
zona, E.U.A. Fuente: Steward Observatory de la Universidad de Arizona.

CONVENIO DE COLABORACION EMPRESA MINERA-INAOE

Ante la falta de legislación y de normas de protección, y después de arduas negociaciones, se firmó el Convenio de Colaboración entre INAOE y la Empresa Minera, con el objeto de dar cumplimiento a las condicionantes del Manifiesto de Impacto Ambiental, para no afectar la actividad del Observatorio Astrofísico "Guillermo Haro". Conviene señalar que la Manifestación de Impacto Ambiental de la empresa minera ni siquiera mencionaba la existencia del observatorio. Sin embargo la autorización para iniciar operaciones se otorgó solamente hasta haber incluido y adicionado las condicionantes mencionadas.

Tanto las condicionantes, como las cláusulas del convenio, establecen de manera sintetizada las siguientes prevenciones y medidas:

- a) La emisión de polvos o partículas que se generen en cualquier etapa del proyecto minero, no deberá interferir con la operación del Observatorio Astrofísico "Guillermo Haro".
- b) Para tal efecto, la empresa minera mantendrá un Sistema Continuo de Monitoreo de Calidad del Aire, en un radio no menor de 8 Kilómetros, con la finalidad de identificar cualquier alteración significativa y aplicará las acciones correctivas correspondientes.
- c) La intensidad luminosa de las instalaciones del complejo minero no deberá interferir con la operación del observatorio.
- d) El manejo de explosivos deberá realizarse previo estudio y pruebas piloto para evitar que las vibraciones, golpe de aire o similares, afecten las actividades del observatorio (1, 12).

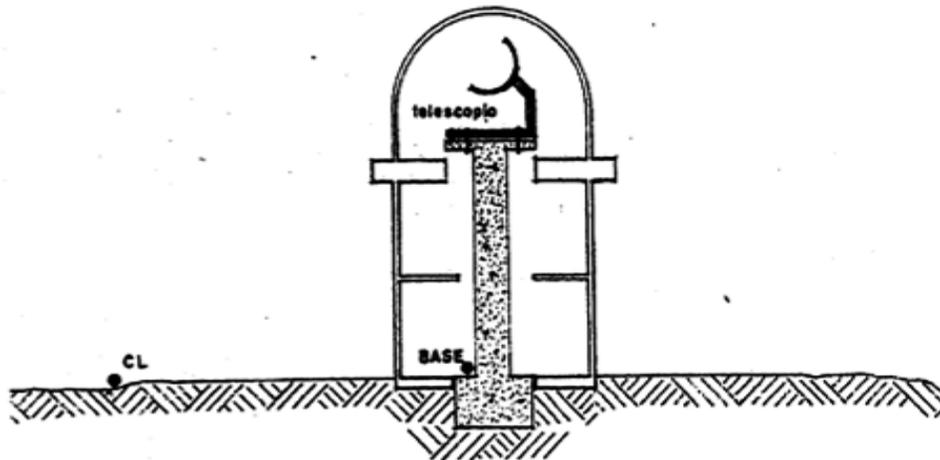
- e) Realizar el estudio de monitoreo de vibraciones en el sitio donde se ubica el observatorio, con el objetivo de determinar las condiciones base existentes, anteriores a la operación de la mina, bajo las que opera actualmente el telescopio.
- f) Efectuar los estudios técnicos-teóricos de valorización de las vibraciones del sitio. El objetivo de dichos estudios será estimar el impacto de las vibraciones sobre el funcionamiento del telescopio y del edificio que lo alberga, causadas por las detonaciones que se efectuarán en el tajo de la mina, una vez que ésta entre en operación.
- g) Una vez iniciada la operación del proyecto, por cuenta de la empresa se instalará un equipo de monitoreo de vibraciones, para que éstas se registren en intervalos de tiempo previamente acordados, por el término mínimo de un año. La empresa se compromete a adquirir e instalar el equipo necesario para vigilar que las vibraciones ocasionadas durante la operación de la mina se mantengan dentro de los límites máximos aceptables que se determinen, con la finalidad de que el funcionamiento del telescopio del observatorio no se altere por efecto de las detonaciones.
- h) Realizar un monitoreo de las partículas suspendidas en el sitio, antes de la entrada en operación del proyecto minero. Para ello, instalará y operará dos equipos de muestreo y una estación meteorológica. Uno de los equipos será instalado en el área del proyecto minero y el otro al igual que la estación meteorológica, serán instalados en el observatorio. El objetivo del monitoreo será identificar el origen y comportamiento actual de las partículas en suspensión provenientes de fuentes ya existentes.
- i) Realizar los estudios para la determinación de las condiciones base

brillo del cielo, extinción atmosférica y calidad de imagen, en el sitio del observatorio, una vez que se instale el equipo necesario.

- j) Previamente a la fecha programada por la empresa para el inicio de operaciones se fijarán los valores máximos permisibles para el aumento en el brillo del cielo y en la extinción atmosférica, debido a la concentración de partículas suspendidas en las emisiones provenientes de la operación de la mina. Dichos valores no podrán ser superiores a los ya determinados y aceptados mundialmente conforme a lo dispuesto por la Unión Astronómica Internacional en 1977. Para la aplicación de estos valores internacionalmente aceptados, se tomarán como punto de partida las condiciones base existentes en el sitio antes de la operación de la mina.
- k) El INAOE continuará monitoreando el brillo del cielo, la extinción atmosférica y la calidad de imagen una vez que se inicien las operaciones de la mina con el objeto de verificar que no exista un deterioro en la calidad de observación que rebase los límites previamente acordados. La empresa aportará el equipo óptico necesario para la realización de dichos estudios de monitoreo.
- l) En caso de detectarse degradación de la calidad de observación, una vez que la mina entre en operación, se identificarán las causas de las perturbaciones y los resultados de los monitoreos determinarán las medidas correctivas necesarias. (12, 13 y 14).

Efecto de las Vibraciones

Para dar cumplimiento a las condicionantes y cláusulas referidas, el INAOE y el INE advirtieron ciertos peligros que potenciaban un serio conflicto de incompatibilidad espacial de actividades entre la empresa minera y el observatorio. Se acordó determinar de común acuerdo los esquemas, técnicos y equipos de medición de vibraciones para determinar el efecto de las explosiones piloto, para saber la carga y profundidad máxima de dinamita que podría usarse sin alterar la cimentación del edificio del telescopio para no afectar el apuntado y precisión del instrumento cuya sensibilidad registra décimas de segundo de arco. Figuras 7, 8 y 9.



SIMBOLOGIA

●	PUNTO DE MEDICION
CL	CAMPO LIBRE
BASE	BASE DEL TELESCOPIO
TELESCOPIO	EN EL TELESCOPIO

Figura 7. Esquema que muestra los puntos de medición sismológica. Para Determinar el Efecto de las Vibraciones por las Explosiones. Antes de la Operación de la Mina. Fuente: Sismo control, S.A. de C.V. 1996. "Resultados del estudio del monitoreo sísmico realizado en el proyecto Mariquita", Sonora y sus implicaciones en el Observatorio Guillermo Haro".

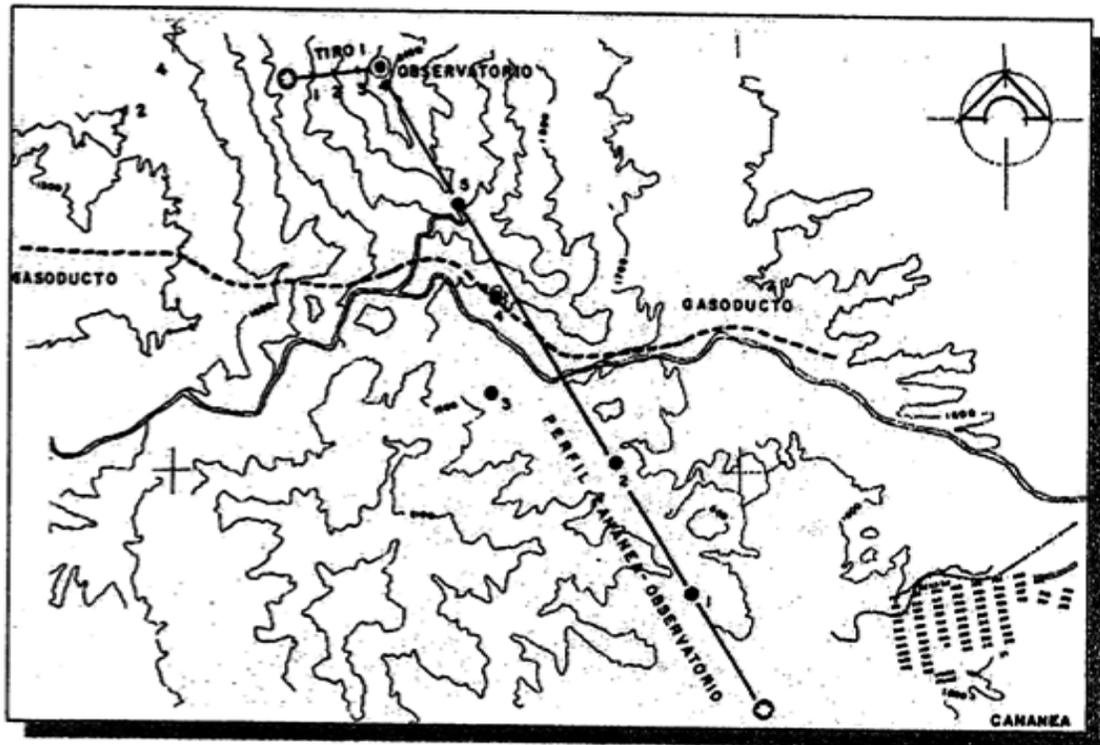


Figura 8. Plano con la Ubicación de las Explosiones Piloto. Realizadas en Distintos Tiros para Evaluar las Vibraciones Antes de la Operación de la Mina. Fuente: Lermo Samaniego J.F. Sánchez Sesma F.J. "Asesoría y Apoyo Técnico en el Monitoreo Sísmico del Observatorio 'Guillermo Haro' y del Gasoducto Naco- Cananea-Hermosillo".

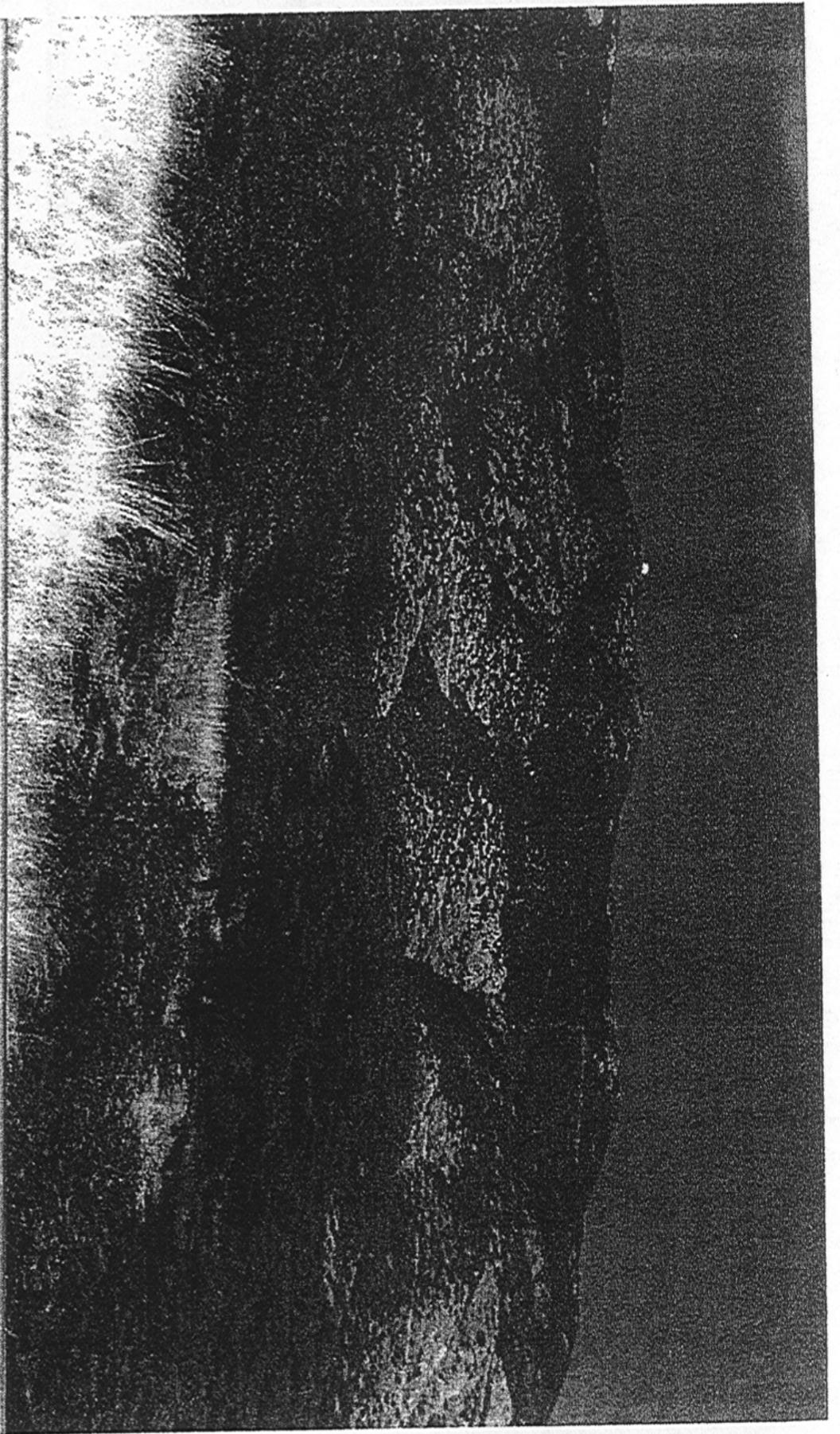


Figura 9. Vista del lado Este Suroeste de la Sierra de la Mariquita. Antes del inicio de los Trabajos en el Sitio del Proyecto Minero. (Archivo Fotográfico INAOE).

Transparencia y Oscuridad del Cielo de Fondo

A un lado del edificio del telescopio principal, en la cúspide de la sierra se instalaron 2 telescopios de monitoreo; uno con la función de medir conjuntamente la transparencia de la atmósfera y la oscuridad del cielo de fondo. Este primer telescopio medirá cómo varía el brillo de algunas de las estrellas que astrónomos de todo el mundo usan como referencia. Estas estrellas tienen un brillo constante bien conocido y sirven como estándares de comparación. Su luz se ve afectada por la atmósfera terrestre y al comparar cómo se ven en el cenit donde su luz atraviesa una porción menor de aire con respecto a posiciones más al horizonte, donde su luz puede llegar a atravesar el doble de atmósfera, se puede deducir cuánta luz ultravioleta, azul, amarilla, roja e infrarroja absorbe la capa de aire que forma nuestra atmósfera. Este telescopio recibe también luz del cielo de fondo y al compararla con la de la estrella de referencia, se puede hacer una medición precisa de brillo, o de la oscuridad del cielo. Estas observaciones requieren noches con las mejores condiciones, sin nubes, de las cuales se registran 115 al año, consideradas noches fotométricas, es decir noches óptimas para la observación.

El segundo telescopio, llamado monitor de "seeing", o monitor de imagen, compara dos imágenes de la misma estrella tomadas por dos sistemas ópticos idénticos. Las diferencias aparentes de las dos imágenes indican en qué medida se dispersa la luz estelar por la atmósfera, ensanchando y degradando las imágenes de las estrellas. Además de titilar por causa de la atmósfera, las estrellas vistas desde la superficie, concentran la luz diez veces menos que en el espacio. El poder observar imágenes con el mayor detalle o el poder concentrar la luz más débil de una estrella, son factores determinantes que han hecho del telescopio espacial Hubble, (apenas

mayor que el de Cananea) un instrumento sin competencia, superior incluso a los mayores instalados en la tierra, con áreas colectoras 16 veces superiores. El "buen seeing", o podría decirse, el bajo titular, depende una atmósfera homogénea, sin turbulencia. La diferencia entre un sitio de buen o mal "seeing" puede ser el ver o no, objetos diez veces más débiles. Fuentes de calor cercanas al telescopio y al observatorio, dan lugar a flujos de aire y a la creación de turbulencias a grados tal vez imperceptibles para nosotros, pero no para un telescopio. Figuras 10, 11, 12, 13, 14.

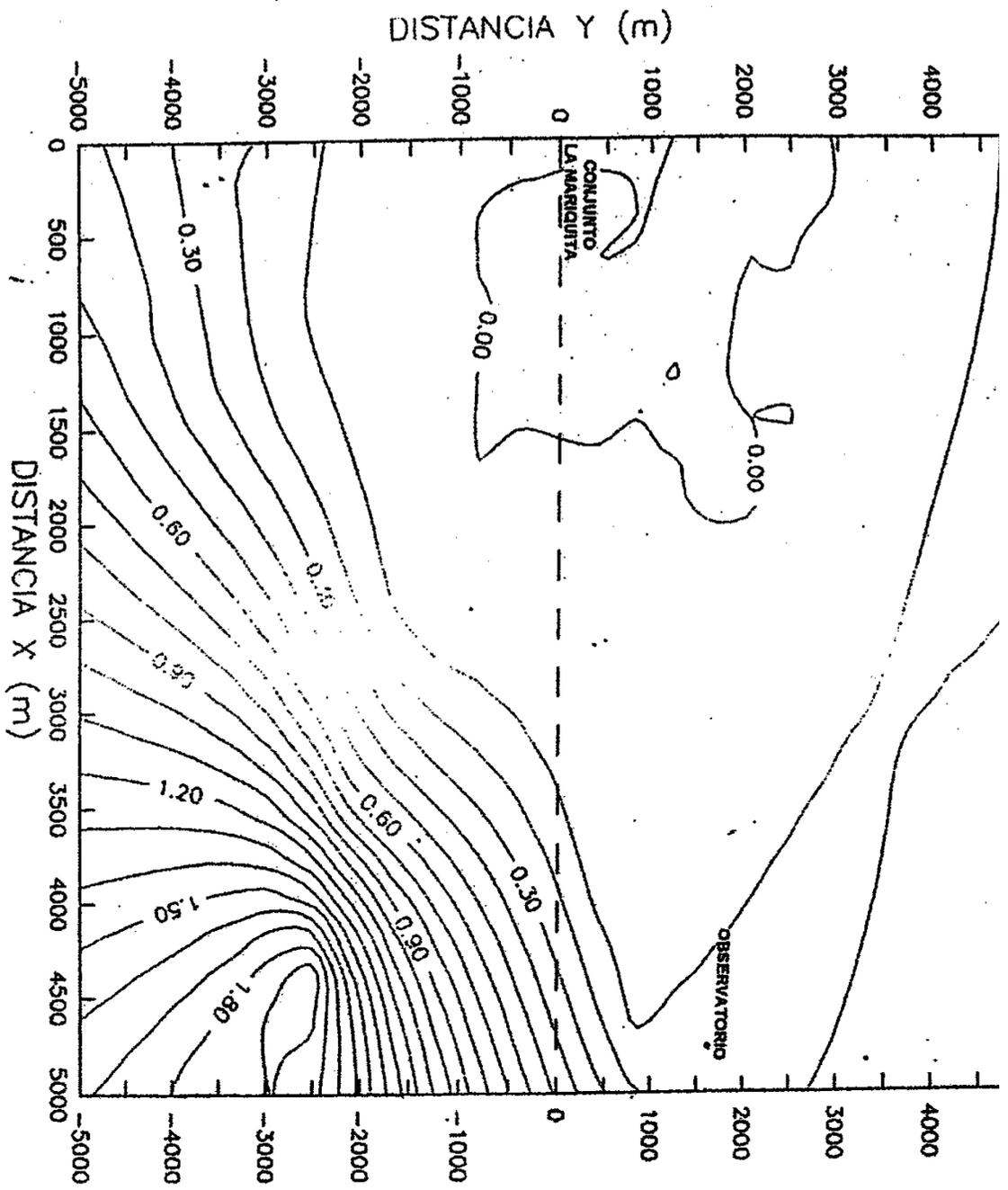


Figura 10. Modelo de dispersión de Partículas Suspendidas Totales. Realizado Antes de la Operación de la Mina. Fuente: Corporación Radian S. A. de C. V. 1995 "Determinación de la Concentración de Partículas Totales en el área del

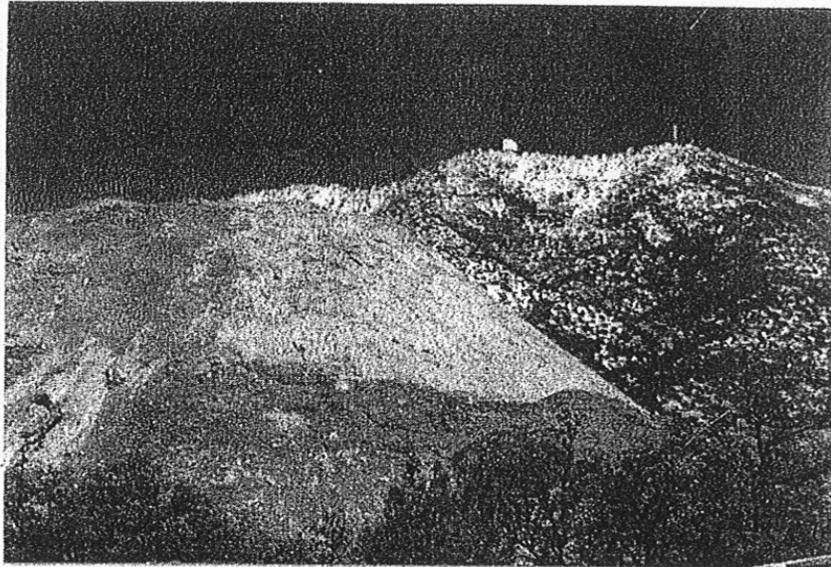
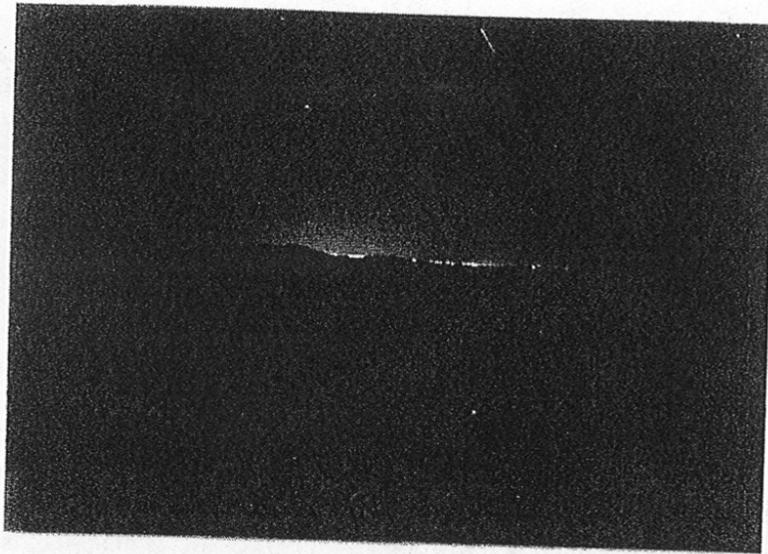
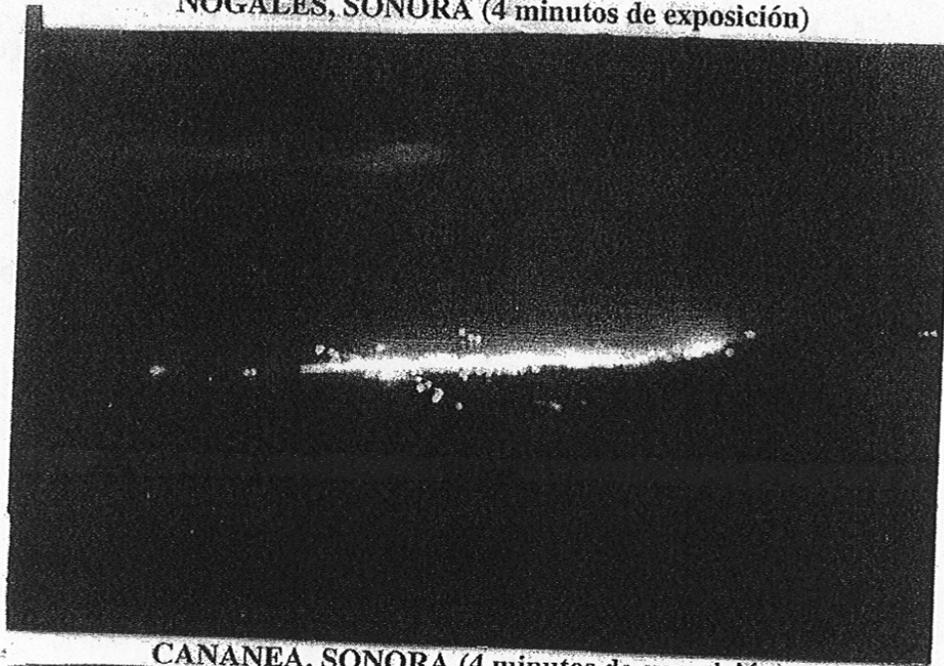


Figura 11. Descapote y Destrucción de la Capa Vegetal a 3 Km. Del Observatorio. Lado Este Suroeste al iniciarse los Trabajos del Proyecto Minero. (Archivo Fotográfico INAOE)



NOGALES, SONORA (4 minutos de exposición)



CANANEA, SONORA (4 minutos de exposición)

Figura 12. Principales Contaminantes Luminosos Nocturnos. Vistos Desde el Observatorio Astrofísico Guillermo Haro". Imágenes con Cuatro Minutos de Exposición. (Archivo Fotográfico INAOE)

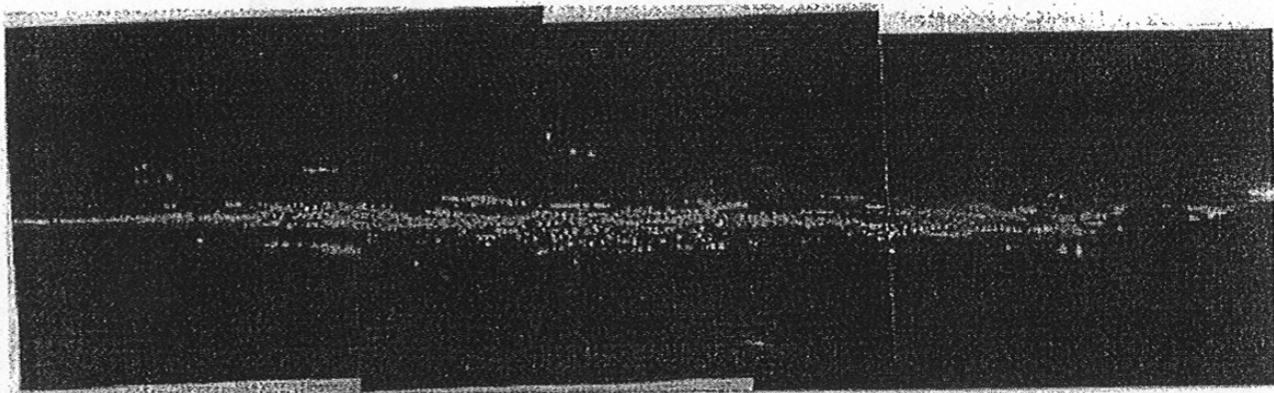
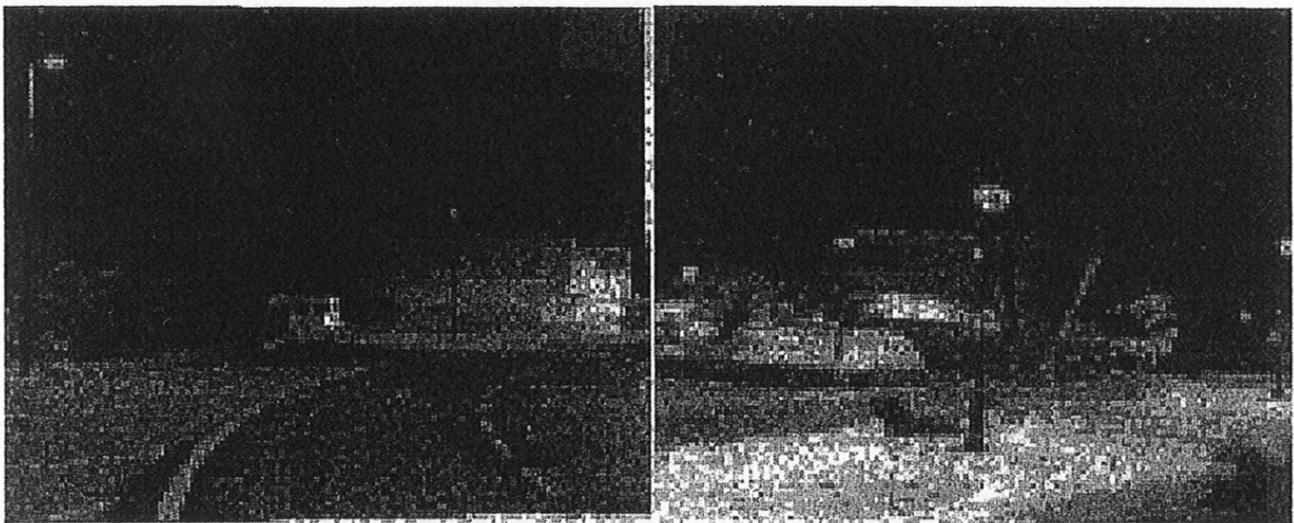


Figura 13. Vista Nocturna Completa de Cananea. Desde el Observatorio Astrofísico "Guillermo Haro". (Archivo Fotográfico INAOE)



Iluminación Incorrecta



Iluminación Correcta

Figura 14. Iluminación Incorrecta. Iluminación Correcta. (Archivos Fotográficos INAOE)

Contaminación Por Polvos y Emisiones Químicas

Aún y cuando en el Convenio de Colaboración no se incluyen de manera explícita medidas para evaluar la contaminación atmosférica de sustancias químicas generadas por el proyecto minero, es indispensable señalar que en la Manifestación de Impacto Ambiental, presentada por la empresa minera, se reporta como el impacto más significativo, el que sufrirá la calidad del aire. La alta generación diaria de Partículas Suspendidas Totales (PST), del orden de 9,230 kg y de 830 kg de polvo respirable, será determinada por los equipos recolectores y valorada por los equipos de medición correspondientes, establecidos en el convenio.

Sin embargo, en la Manifestación de Impacto Ambiental, se señalan además las siguientes actividades generadoras de sustancias químicas a la atmósfera, que en el convenio no se encuentran consideradas para su valoración:

a) Consumo de combustibles.

En la preparación del sitio y construcción, la energía eléctrica requerida será del orden de 450 kw, que se producirá en el sitio con generadores impulsados por motores diesel. El consumo mensual de combustible será de 100,000 litros con lo que se producirán las siguientes emisiones a la atmósfera:

Contaminante	Factor (kg/10 l)	Emisión (kg/mes)
CO	12.2	1,220
HC	4.5	450
Nox	56.2	5,620
Aldehídos	0.8	80
SOx	3.7	370

En la etapa de operación se empleará una caldera para calentamiento de ácido sulfúrico; el combustible será gas natural, cuyo consumo mensual será de 122,000 m³. En futuras investigaciones será necesario calcular las emisiones liberadas a la atmósfera de los siguientes contaminantes: CO, COV (metano), COV (no metano), NO_x, SO_x y PST.

b) Minado.

El minado del tajo requerirá de 311 ton/mes de explosivos denominados ANFO. La detonación de éstos, producirá las siguientes emisiones:

Contaminante	Factor (kg/ton)	Emisión (kg/mes)
CO	34	10,574
NO _x	8	2,488
SO ₂	1	311

Contaminación Electromagnética

Por otra parte, tampoco se incluyó explícitamente en el Convenio de Colaboración, la valoración de las fuentes de contaminación electromagnética, emitidas por toda la gama de equipos de radiocomunicación. Por ello se recomienda también realizar futuros estudios sobre la incompatibilidad electromagnética que afecta a los instrumentos sofisticados del observatorio. Así mismo, el buen funcionamiento de la computadora de control de apuntado del telescopio, la cámara CCD, el controlador de la posición de foco y la señal de video de la cámara de guiado, pueden sufrir serios problemas de incompatibilidad electromagnética generada por equipos de radiocomunicación que interfieren con la operación del observatorio. Estas interferencias ambientales pueden tener un impacto adverso aún cuando estén por debajo de los niveles que las personas comunes puedan percibir directamente, debido a que un telescopio es un instrumento de alta precisión y sofisticación capaz de registrar señales y estudiar objetos millones de veces más débiles que el umbral del ojo y el oído humano.

EXPROPIACIONES PARA LA PROTECCION DEL OBSERVATORIO

Desde 1978, cuando se construyó el camino y se inició el equipamiento del “Observatorio Guillermo Haro” y hasta la fecha, el INAOE realiza esfuerzos para evitar el deterioro de la Sierra de la Mariquita. Por ello después de la firma del Convenio de Colaboración con la empresa minera, se logró además culminar exitosamente la expropiación por causa de utilidad pública de más de 2,196 hectáreas de terrenos, ubicados en las partes altas de la sierra, por arriba de los 1,800 metros sobre el nivel del mar. Estos terrenos están comprendidos dentro de la original área núcleo de recuperación ecológica del Plan de Manejo del Área de Protegida de “La Mariquita, La Elenita, Río San Pedro” que fue presentado a los sectores de Cananea para su firma de concertación en Septiembre de 1994 como parte del Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Sonora, SANPES (15).

A raíz de la reciente expropiación por causa de utilidad pública de la Mariquita, el INAOE trabaja en la reorientación del proyecto original del SANPES, para revertir la acelerada pérdida de biodiversidad y simultáneamente conservar y aún mejorar las condiciones para la observación astronómica.

Los dos Acuerdos publicados en el Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora el 27 de Octubre de 1997 y los dos Decretos publicados en el Diario Oficial de la Federación, el 26 de Agosto de 1998, mediante los cuales se expropió la sierra de la Mariquita, son de trascendencia para elaborar las nuevas figuras jurídicas de protección a observatorios. (Apéndice 1).

Las expropiaciones relacionan las causas de utilidad pública con la protección del cielo, ya que los Decretos publicados en el Diario de la Federación establecen destinar el área expropiada para "... la construcción del edificio y demás infraestructura del observatorio astrofísico 'Guillermo Haro', así como a la creación de un área de protección y control para preservar, conservar y mejorar las condiciones de cielo oscuro y atmósfera transparente, indispensables para conservar la calidad de imagen celeste que permita continuar desarrollando las actividades de observación astronómica ..."(16)

En los acuerdos del Gobierno del Estado se reconoce que "... es indispensable contar con el terreno solicitado para establecer una área que proteja el suelo aledaño y preserve la limpieza del cielo para continuar desarrollando su trabajo... debe señalarse además que la protección a la atmósfera y al suelo aledaño ... es convergente con la correcta conservación y preservación de la flora y la fauna, la belleza del lugar y en especial para evitar la destrucción de los elementos naturales, debido a incendios, tala de árboles, cacería irresponsable e impacto de la actividad minera entre otros agentes ..." Los agentes de contaminación atmosférica que se buscan evitar con la creación del área de protección, explícitamente mencionan: "... humo, gases y polvos, luminosidad, vibraciones e incendios forestales, entre otros agentes de impacto ambiental derivados de la actividad humana ..." (17) (Apéndices 2 y 3).

CONCLUSIONES

- Cumplir en todos sus términos con las condiciones del Dictamen de Autorización de la Manifestación de Impacto Ambiental de la Empresa Minera, que establecen “No afectar la actividad de la observación del Observatorio Astrofisico Guillermo Haro”.
- Garantizar el cumplimiento del Convenio de Colaboración para evaluar y monitorear la contaminación antes y después del inicio de operaciones de la mina en las áreas siguientes: vibraciones, polvos, partículas suspendidas y luminosidad.
- Se demostró la trascendencia de proteger el observatorio de nuestro caso de estudio, ya que las resoluciones que se adoptaron para superar la controversia entre el observatorio y la empresa minera, trascienden con mucho el ámbito local. Este caso de estudio aportó conclusiones inéditas al no registrarse antecedentes similares. Ello debido a que en otras partes del mundo no existen explotaciones de minado a cielo abierto, ubicadas a una distancia tan corta de un observatorio de la misma envergadura.
- La extinción atmosférica y el brillo del cielo. A un lado del edificio del telescopio principal, se instalaron dos telescopios de monitoreo: uno para medir la transparencia de la atmósfera y la oscuridad del cielo de fondo, el segundo telescopio llamado monitor de “seeing” o de imagen, determina en que medida se dispersa la luz estelar por la atmósfera. Se ha trabajado desde 1994, en la

Respecto a la curva de la extinción atmosférica, Las magnitudes obtenidas se encuentran dentro de los valores normales, similares a los observatorios de San Pedro Mártir y Kitt Peak. Ya que la emisión a la atmósfera de polvos y partículas finas, todavía no afecta la calidad de imagen, debido a que la generación de polvos y gases, no ha sido iniciado por la explotación minera. Figura 15

En cuanto a las magnitudes del brillo del cielo, las bandas UBVR1 que utilizaron los filtros, detectaron un aumento cuando el apuntado de los filtros se dirigió hacia Cananea que hacia el lado opuesto. La diferencia es de $\frac{1}{2}$ magnitud por segundo de arco². En relación con San Pedro Mártir y Kitt Peak, el brillo del cielo se encuentra dentro de valores todavía aceptables, aunque aumentado $\frac{1}{2}$ magnitud, debido a la luminosidad de Cananea. Figura 16.

- Este caso aportó soluciones originales que involucraron la participación Interdisciplinaria, poco común en la resolución de conflictos ambientales. Por ello, las medidas adoptadas para proteger la atmósfera por encima de las escarpadas laderas de la Sierra de la Mariquita se han convertido en ejemplo de proyección nacional que se pueden aplicar en otras montañas similares que forman el "Archipiélago de Islas del Cielo" en Sonora y Arizona.

- La experiencia de nuestro caso de estudio, justificó la necesidad de adecuar y actualizar el marco normativo y legal para proteger a los observatorios en México. Por lo cual se deberá iniciar el proceso para la elaboración de Las Normas Oficiales Mexicanas de protección a observatorios.

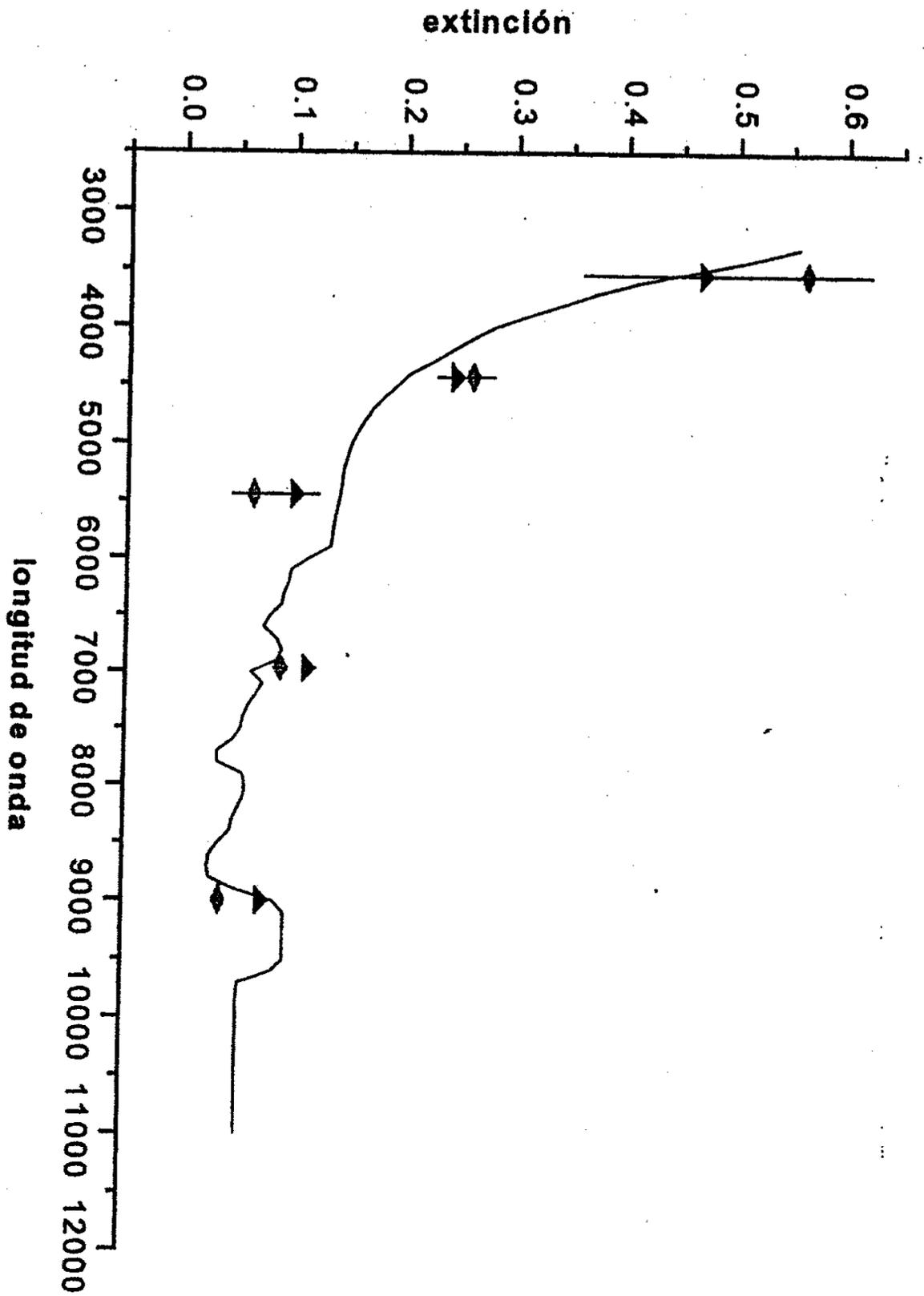


Figura 15 Curva de extinción atmosférica. Fuente: P. J. ...

Band	May 1994 m_{cielo}	Ene 1997 m_{cielo}	Dic 1999 m_{cielo}
U			21.04
B	21.5	20.8	22.39
V	20.5	20.0	21.01
R	20.0	19.8	20.72
I	18.7	18.5	19.44

Figura 16. Tabla de magnitudes del brillo del cielo. Fuente: INAOE, XIV Reunión Anual de Astronomía.

RECOMENDACIONES

- Iniciar la ruta crítica para llevar a cabo el procedimiento técnico para la elaboración de Nuevas Normas Oficiales Mexicanas de protección a observatorios, a partir del marco de referencia de las conclusiones anteriormente expuestas.
- Incluir en el Comité del Instituto Nacional de Ecología para emitir Normas Oficiales, al Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica; Universidad Nacional Autónoma de México; Universidad de Sonora y demás instituciones que realizan investigación astrofísica.
- Considerar los estudios científicos, antecedentes bibliográficos y los análisis costo - beneficio para sustentar la necesidad de emitir las nuevas Normas.
- Incluir en las nuevas Normas Oficiales Mexicanas, la protección a los siguientes tipos de observatorios astronómicos:
 - a) Ópticos
 - b) Microondas
 - c) Infrarrojos
 - d) Radiotelescopios

- Realizar los estudios comparativos con los estándares internacionales de referencia, mediante el análisis de los resultados prácticos en la aplicación de los respectivas estándares en diferentes países (19, 20).

- Realizar estudios comparativos con las legislaciones de protección a observatorios de los siguientes países:
 - a) Brasil
 - b) España
 - c) Venezuela
 - d) Estados Unidos. (Arizona, California, Texas y Hawaii)
 - e) Israel
 - f) Alemania
 - g) Ex Checoslovaquia
 - h) Australia

- Analizar todas las recomendaciones emitidas por los organismos internacionales relacionados con la limpieza del cielo, tales como:
 - a) Recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional.
 - b) Sugerencias para la reducción de la contaminación lumínica del "Institution of Lighting Engineers".
 - c) Bandas de frecuencias asignadas a radio astronomía por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
 - d) Mapa de la región de radio silencio en West Virginia, Estados Unidos.
 - e) Los nuevos tratados, convenios, acuerdos y recomendaciones internacionales que se emitan en el futuro para la protección del cielo.

- En cuanto a la contaminación química de la atmósfera, no se encontraron antecedentes bibliográficos a nivel nacional e internacional que reporten los efectos dañinos ocasionados por la generación de gases, vapores y otras emisiones volátiles potencialmente riesgosas para el trabajo de observatorios ópticos, similares al de nuestro caso de estudio.
- Lo anterior debido a que no existen precedentes nacionales e internacionales de explotaciones mineras de características similares a las ya descritas, ubicadas a una distancia tan corta de un observatorio profesional, de envergadura similar al de nuestro caso de estudio.
- Sin embargo, se sugiere tomar como marco de referencia la información sobre los contaminantes químicos que se liberarán a la atmósfera, según se expresa en la Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto minero ya referido.
- Determinar los métodos más avanzados existentes a nivel mundial, tales como los equipos de la detección remota con luz láser para evaluar el comportamiento de los principales contaminantes químicos emitidos a la atmósfera por el proyecto minero del presente caso.

BIBLIOGRAFIA

1. Minera María, S.A. de C.V. e Instituto Nacional de Ecología Dirección General de Normatividad Ambiental. 1994. "Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad General y la Información Adicional Relativas al Proyecto de la Explotación de Cobre denominado "Mariquita" S.A. de C.V. en el Municipio de Cananea, Estado de Sonora, México.
2. Seismocontrol, S.A. de C.V. 1996. "Resultados del Estudio de Monitoreo Sísmico Realizado en el Proyecto Mariquita", Sonora y sus Implicaciones en el Observatorio "Guillermo Haro". Servicios Corporativos Frisco, S.A., México.
3. Corporación Radian, S.A. de C.V. 1995. "Determinación de la Concentración de Partículas Suspendidas Totales en el Area del Observatorio Astronómico "Guillermo Haro". Minera María, S.A. de C.V.
4. Lermo Samaniego J.F. Sánchez Sesma F.J. 1996. "Asesoría y Apoyo Técnico en el Monitoreo Sísmico del Observatorio "Guillermo Haro" y del gasoducto Naco-Cananea-Hermosillo" . Instituto de Ingeniería UNAM-México.

5. "Proceeding of the Conference Sponsored by UNESCO, The International Council of Scientific Unions, The International Astronomical Union and the committee on Space Research Held at UNESCO, Paris, 30 June-2 July 1992. 1994. The Vanishing Universe". "Adverse Environmental Impacts on Astronomy". Ed. Derek McNally Cambridge University Press. U.K.
6. "Lewis J.S. 1998 "World Without End". The Exploration of Planets "Known and Unknown". Perseus Books Massachussets. E.U.A.
7. Lovelock J. 1995. "GAIA", "Implicaciones de una Nueva Biología". Ed. Kairos, Barcelona, España.
8. Vernadsky V.I. 1986. "The Biosphere" (abridged version based on the French edition 1929). Synergetic Press, Arizona, Londres, U.K.
9. Murdin P. 1994. "The Aims of Astronomy in Science and the Humanities: Why Astronomy Must Be Protected", Royal Greenwich Observatory, Cambridge. McNally. Cambridge University Press. U.K.
10. Istock, C.A., Hoffmann, R.S. 1995. "Storm Over a Mountain Island" the Arizona University Press. E.U.A.

11. Strittmate P.A. 1995. "Astronomy and the Pinaleños Mountains" Chapter Five "Storm Over a Mountain Island". The Arizona University Press. E.U.A.
12. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Normatividad. 1994. "Autorización Condicionada a la Manifestación de Impacto Ambiental". Minera María, S.A. de C.V., México.
13. Oficio de Estévez P.A. Carabias, J. Secretaria de SEMARNAP. 12 de Julio de 1996. México.
14. "Convenio de Colaboración, INAOE – Minera María". 10 de Noviembre de 1995. México.
15. Centro Ecológico de Sonora, SIUE, SEDESOL. Plan de Manejo. "Area de Protección de la Flora y la Fauna Silvestres y Acuáticas Sierras la Mariquita – La Elenita – Río San Pedro, Municipio de Cananea, Naco y Santa Cruz, Sonora, México". 1994.
16. "Diario Oficial del Gobierno del Estado de Sonora". 9 y 27 de Octubre de 1997.
17. "Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora". 9 y 27 de Octubre de 1997.

18. Jaque Rechea, F. 1999. "Memorias del Curso Taller Física Ambiental", Editado por UNISON, UAM, CYTED, SESIC, SEP. Hermosillo, Sonora, México.
19. Carrasco, B.E., Carramiñana, A., Sánchez Sesma, F.J., Lermo Samaniego, J.F. 1998. "Protection of the Observatorio Astrofisico "Guillermo Haro" Preserving the Astronomical Windows" A.S.P. Conference Series Vol. 139. Edited Syuzo Isobe and Tomohiro Hirayama. Japan.
20. Carrasco, E. Y Carramiñana, a. 1995. "Protección a Observatorios Astronómicos", INAOE Report Técnico 193. Enviado a las comisiones de Ecología de la Cámara de Diputados y Senadores.

APENDICES

1) BOLETÍN OFICIAL.

**Organo de Difusión del Gobierno del Estado de Sonora. Numero 34
secc. II lunes 27 de octubre de 1997.**

2) DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION

**Organo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos
Mexicanos México, D.F., miércoles 26 de agosto de 1998.**

3) PLANO PROYECTO DE EXPROPIACION.

Polígono Completo