



EL CALENDARIO SOLAR Y SUS PROBLEMAS

THE SOLAR CALENDAR AND ITS PROBLEMS

ROGELIO MELÉNDEZ TERCERO, miembro de la AARS

RESUMEN

Se describe lo realizado en los parques solares didácticos de los pueblos de Castropodame y Bemibre en la zona del Bierzo (León, España). En particular, el trazado de las líneas de fechas que es más complicado que las líneas horarias, especialmente en los solsticios. La fecha en los relojes de sol no suele tener la exactitud de los calendarios utilizados comúnmente dadas las fluctuaciones anuales de la declinación solar y de la ecuación del tiempo.

ABSTRACT

This article describes the work carried out in the didactic parks located in Castropodame and Bemibre in Bierzo's region (León, Spain). In particular, it describes date lines plotting process which is more complex than plotting the hour lines, especially at the solstices. Dates on sundials are not usually as accurate as the commonly used calendars are due to the annual solar declination and the equation of time fluctuations.

PALABRAS CLAVE: Gnomónica, reloj de sol, gnomon, Parque, Castropodame, Bemibre.

KEY WORDS: Gnomonics, sundial, gnomon, Castropodame, Bemibre.

INTRODUCCIÓN

Cuando se trata de determinar la posición en el tiempo de un evento, hay que indicar la fecha y la hora. En los años 90 del siglo pasado, cuando yo empecé a interesarme por el tema de los relojes y calendarios solares, pronto fui consciente de que en lo que respecta a la señalización de la hora y mediante un reloj de sol, las perspectivas eran muy buenas, pero en cuanto a la fecha, el asunto es más complicado. Por ello escribí que la “función calendario”, de un reloj-calendario solar que estaba ideando, presentaba más problemas que la “función reloj” y que ello quizá explicaba porque han abundado los relojes de sol, pero no tanto los calendarios solares. A la fecha de hoy (unos 30 años después) afirmo que en efecto así es y además quiero precisar (con datos matemáticos) lo que afirmo.

Debo señalar que también desde los primeros momentos observé que hay ciertas horas, cuya señalización es

complicada al menos en un cuadrante horizontal. Me refiero lógicamente a las horas próximas al orto y el ocaso. Con las fechas ocurre algo similar. Por ello sólo muy excepcionalmente me ocupé de representar instantes en los que el Sol se halla en el horizonte por debajo de los 10°. Es obvio que estos instantes han de ser representados en cuadrantes no horizontales.

En este análisis me he centrado mucho en los solsticios (sobre todo en el de verano) porque desde hace años entendí, que eran estas fechas próximas a los solsticios donde más difícil resulta identificar la fecha exacta de un día concreto a partir de la traza de las sombras, debido a que en estas fechas (“sol sistere”) el Sol hace día tras día por el firmamento caminos “casi” a la misma altura respecto al horizonte.

De igual modo me percaté de que la señalización de las horas centrales del día y próximas además al solsticio de verano, ha de representarse a una escala diferente a las del resto. En las fechas próximas a los solsticios, los puntos que representan sobre cada analema las distintas fechas se “amontonan”. En el equinoccio la situación es muy distinta obviamente, debido a que es en el equinoccio cuando la variación de la declinación solar es mayor. Por ello ya en los años 90 del siglo pasado, pensaba yo que lo correcto sería construir al menos tres cuadrantes. Uno para cuando el Sol estuviere a alturas inferiores a los 10°, otro para las horas centrales del día y próximas al solsticio de verano y otro que sería el general, que es el único que realmente se pudo construir, con no pocas dificultades, tanto en Bemibre como en Castropodame.

INDICACION DE LA FECHA, ASPECTOS GENERALES

Sería maravilloso que mirando a simple vista un calendario solar en pocos segundos (menos de un minuto o dos, por ejemplo) supiésemos la fecha exacta. Sin embargo, ello no es posible por una larga secuencia de circunstancias. Después de varias décadas de estudio del



tema y tras haber realizado una espantosa cantidad de observaciones, mediciones y comprobaciones; cuyos resultados aún conservo en unos también extensos apuntes, entiendo que hay tres factores- principales- que influyen en esta cuestión. Uno es la enorme cantidad de líneas (hipérbolas) que habría que dibujar y que además en las proximidades de los solsticios se “amontonan”, debido a que la declinación solar varía muy poco. Otro el hecho de que los bordes de las sombras tienen siempre una zona de indeterminación o de penumbra. Por último y al igual que en la determinación de la hora, hay que disponer de un cuadrante bien orientado y bien construido. Al decir esto me refiero a que en el caso de cuadrantes de grandes dimensiones y horizontales (los que yo he analizado durante décadas) la nivelación ha de hacerse con mucho cuidado e incluso tener en cuenta la influencia de la refracción de la luz, aunque esta sólo es “peligrosa” en los instantes próximos al orto y ocaso.

EL NÚMERO DE HIPÉRBOLAS Y SU TRAZADO

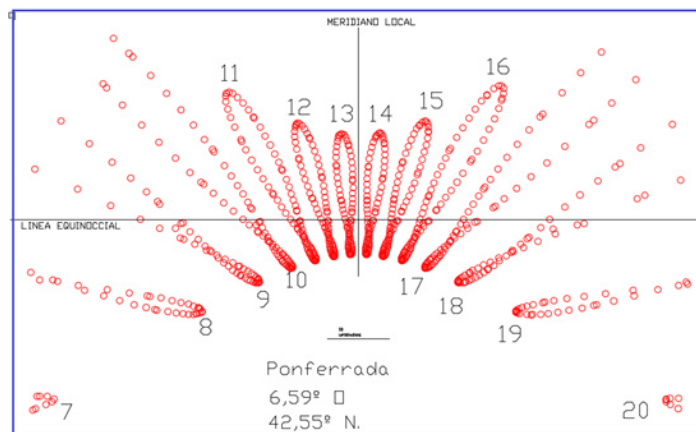
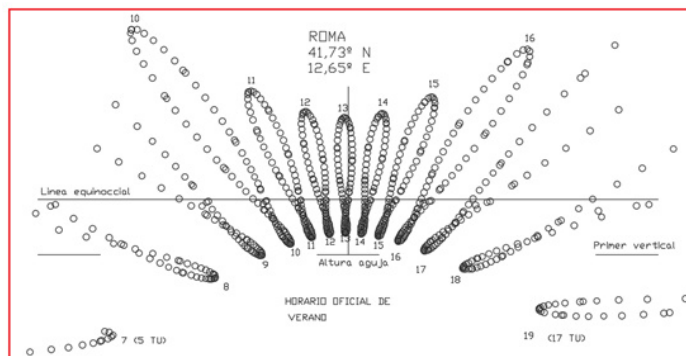
Puesto que el año tiene 365 (o también 366) días, habría que trazar en el cuadrante solar otras tantas líneas (ramas de hipérbolas). Esto es ya un serio problema porque se crea una enorme confusión de líneas como sabemos perfectamente los estudiosos de estos temas. Por si no fuere bastante este elevado número de hipérbolas, el hecho de que la duración “real” del año no es ni de 365 ni de 366 días es otro problema añadido. Este detalle ya lo tuve en cuenta hace muchos años y por ello deduje que, el año de referencia para los cálculos no debería ser nunca (obviamente) un año bisiesto. Hay que elegir un año que sea el más representativo dentro de un ciclo cuatrienal. El más adecuado (en 1992) era el 1994, por evidentes razones. Al transcurrir los años adopté como año de referencia el 1998 (en Bembibre, aunque las obras se ejecutaron en 1999) y el 2002 (en Castropodame en las obras efectuadas en 2005). Las razones creo que no hace falta explicarlas en este documento de la AARS. No obstante (tampoco hace explicar el motivo) ello supone que, en un ciclo de 4 años, habrá épocas de un año determinado en las que el desfase del año tomado como referencia, respecto al año en curso y respecto a los valores de referencia de una fecha (declinación y horas de paso por el meridiano de referencia) sea de medio día. En una palabra, que en ciertos años puede haber un desfase inevitable de medio día. La sombra no señalaría, por ejemplo, ni el 6 ni el 7 de noviembre si no el 6 y el 7 “y medio”.

Por otra parte, el trazado de una hipérbola no es sencillo. El único método que yo conozco para dibujar las hipérbolas de cada fecha, consiste en trazar punto a punto la posición de las sombras a lo largo de un mismo día, en una serie de instantes (horas en punto, medias, cuartos, etc.). Es posible, no obstante, que hoy existan otros métodos para ello.

Los planos en papel equivalente

Hace ya más de 30 años (1992) un buen amigo mío, antiguo compañero de trabajo e ingeniero de minas llamado Rogelio Cerdeira Crespo, confeccionó a partir de

una serie de fórmulas matemáticas que yo le facilité, un programa de cálculo que es muy útil y que dibuja en pocos minutos (utilizando AutoCAD) relojes-calendario de sol para cualquier parte del mundo, pero no dibuja las hipérbolas de las fechas con trazo continuo. Ver figuras 1 y 2 con fechas los días 1-5-10-15-20-25 de cada mes.



Figuras 1 y 2. Dibujos logrados con el programa de Rogelio Cerdeira Crespo. En el año 1992, no debían existir muchos programas de cálculo para diseñar relojes-calendario solares como este. La figura de arriba corresponde a Roma y en horario oficial adelantado dos horas respecto al TU; la figura de abajo a Ponferrada con horario oficial de invierno. Fechas los días 1-5-10-15-20-25 de cada mes.

El programa dibuja analemas (punto a punto) de las horas en las que la altura del Sol es superior a los 10°. Estas son horas en punto y en tiempo universal (TU), es decir, instantes con intervalos de una hora. Sobre cada analema la secuencia de fechas era los días 1-5-10-15-20-25 y el último del mes sea 30 ó 31. No dibuja, como he señalado, líneas continuas de fechas (ni de horas) y además no tiene en cuenta que el valor de la declinación solar varía a lo largo del día. Este detalle sin embargo en principio no es muy importante. Identificando sobre cada analema las fechas es posible trazar a mano alzada o por otro método (programas de dibujo) las hipérbolas de las fechas. Aún incluso si las dibujare (las hipérbolas), no serían las 365, si no sólo las correspondientes a la secuencia de fechas indicada. No conozco (ni creo que los haya) cuadrante alguno que dibuje esas 365 (o 366) líneas. Otra cuestión es que se buscara algún método para que en función de la época del año se visualicen sólo unas pocas. Por ejemplo, la de una fecha concreta, la anterior y la siguiente.



En los primeros diseños sobre lo que yo llamaba reloj-calendario solar, (que hice a lápiz y en papel, generalmente milimetrado), dibujé sólo las ramas de hipérbolas de un reducido número de fechas. A veces sólo los días 1 de cada mes. Otras veces las de los días 1 y 30. Sobre la traza de las analemas (se dibujaron completas y de horas en punto) sin embargo la secuencia de fechas era diferente. Se indicaban los días 1-5-10-15-20-25 y 30 de cada mes. Si por ejemplo se señalan solo los días 1 de cada mes, no hay mucha confusión de líneas de fechas. No se “amontonan” demasiado, pero corresponden a sólo 12 fechas del año o mejor dicho 15 si se tienen en cuenta los solsticios y equinoccios. La hipérbola (en la práctica una línea recta) del equinoccio de primavera será la misma que la del equinoccio de otoño a efectos prácticos.

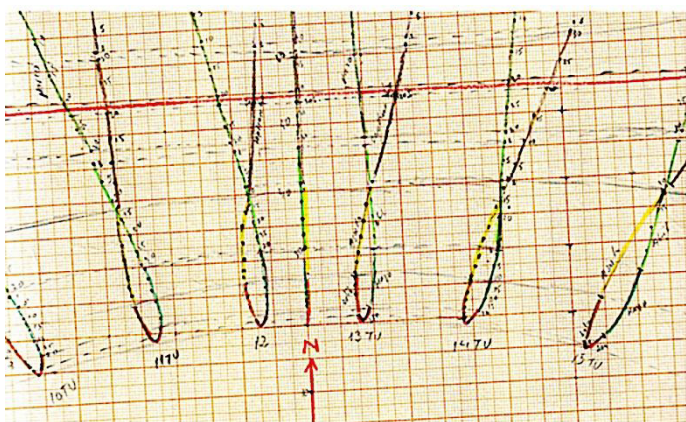


Figura 3. Dibujo en papel milimetrado. Sobre las ramas de analema se representan las fechas 1-5-10-15-20-25 y 30 de cada mes. De este modo es posible comparar la anchura apreciable de la banda de penumbra en cualquier época del año con la separación (sobre cualquiera de las analemas) entre dos días consecutivos. Analemas en TU. Coordenadas a las que corresponde el diseño son las de Castropodame.

Estos dibujos como el de la figura 3, se hacían lógicamente a mano y previo cálculo (uno a uno y con una calculadora de bolsillo del año 1992) de los puntos señalados. En este caso, si tenía en cuenta que a lo largo de cualquier día la declinación solar varía. Fue un trabajo que me ocupó creo que varios meses hasta completar el diseño. La cantidad de puntos calculados uno a uno es muy grande como resulta evidente. Fui entonces calculando con intervalos de 5 días (1-5-10-15-20-25 y 30 de cada mes) la posición de la sombra de un objeto de altura 60 unidades en analemas cada vez más completas. Si esas 60 unidades eran centímetros, si se pretenden señalar las fechas y se hace entre las 12 y 13 TU (es decir las horas del mediodía en Castropodame y en El Bierzo en general) la confusión vi que era muy grande, aunque intenté dibujarlas y en buena medida lo conseguí. Las hipérbolas en aquellos modelos en papel milimetrado, las dibujé obviamente uniendo a mano alzada los puntos de una misma fecha correspondientes a diferentes horas en punto.

Los planos llevados al terreno

No obstante, en el terreno (cuadrante de unos 400 metros cuadrados) utilicé una mayor densidad de puntos en cada hipérbola (fracciones hora). Así creo que, si es

posible trazar una línea continua de una fecha concreta con rigor aceptable. Ver imágenes de la construcción de los parques solares didácticos de Bembibre y Castropodame. La secuencia de fechas (en Bembibre) fue 1-5-10-15-20 y 25 de cada mes, en las analemas de horas en punto. El día 30 no se señaló por su proximidad al 1. Era afinar muchos sobre el terreno. No obstante en las horas centrales del día y cerca del solsticio de verano, la dificultad para trazar con resaltes de hormigón las hipérbolas con esa secuencia de fechas, era tan grande que se optó por interrumpir el trazado. En Castropodame ya había ocurrido lo mismo y en el primer intento de hacer un cuadrante, se dejó también un espacio (en la zona más próxima al punto que daría las sombras), que se pensaba desarrollar de modo independiente. Ver figura 5. En esta zona las bandas de césped para dibujar las hipérbolas se interrumpían. En el año 2005 y aunque el cuadrante era exactamente el primitivo, no se realizó tal interrupción, porque en esta ocasión las líneas de hipérbolas se pintaron sobre una superficie de hormigón pulido. Ver figura 8.



Figura 4. Construcción del reloj-calendario en Bembibre. Se aprecian muy bien las hipérbolas de las fechas. Son los bordes de esas bandas de hormigón. Se tuvo en cuenta el efecto de la refracción. En las horas centrales del día y en fechas próximas al solsticio de verano se interrumpió el trazado.

En el papel (milimetrado o no) sin embargo, si era posible dibujar hipérbolas continuas y distinguiendo las del día 30 de un mes y el 1 del siguiente.

Como he dicho y cuando se realizaron sobre el suelo las obras, las ramas de hipérbolas (fechas) dibujadas con trazo continuo sobre hormigón con pintura o de cualquier otro modo (ver figuras 4 a 9) corresponden a los días 1-10 y 20 de cada mes y se dibujaron de tal modo que durante medio año se puedan señalar las fechas correspondientes al período invierno/primavera y el resto las demás. En una primera aproximación los días 1 de un mes corresponden al 10 de otro. Además, los días 20 de un mes equivalen a los 20 de otro. Por ejemplo, el 1 de enero es muy similar al 10 de diciembre.

Muy similar sí, pero no igual y por ello esta circunstancia se tuvo muy en cuenta y se construyó lo que yo llamo bandeo secundario que permite sortear esta dificultad. Este bandeo se construyó con hormigón en



Bembibre (figura 4) y en Castropodame también en un primer intento, aunque finalmente se optó por pintarlo sobre una plataforma de hormigón. Ver figuras 8 y 9.



Figura 5. Primer intento de construcción del cuadrante en Castropodame. El bandeados de fechas se pensaba realizar con bandas de césped. Para un cuadrante de esa magnitud (400 metros cuadrados) era complicado. Habría que pensar en un cuadrante...¡¡ aún más extenso!!

De este modo no hay confusión de líneas. Hay, eso sí, que reubicar los carteles de las fechas en cada solsticio. Por otra parte, en las ramas de analema correspondientes a horas en punto, las fechas 5-15 y 25 de cada mes, también se señalaron, aunque no se dibujaron ramas de hipérbolas correspondientes a esas fechas.



Figura 6. Indicación de las fechas en el parque solar didáctico de Bembibre. Corresponden al período verano/otoño. Al iniciarse el invierno era preciso reemplazar estos carteles de las fechas por otros, como es obvio. En este cuadrante se optó por señalar no las analemas completas, si no en cada época del año la rama que correspondía. Así se podían señalar fechas de horas en punto, medias horas, cuartos de hora e incluso fracciones de 5 minutos.

De este modo no hay mucha confusión en el trazado del bandeados de fechas, aunque la precisión en la indicación de las mismas es mayor en las horas en punto que en otros instantes. Luego lo explicaré. Aclaro que las hipérbolas de las fechas reflejadas en las bandas de hormigón, se representan con los bordes de esas bandas. Un borde es la forma más precisa de materializar una línea.



Figura 7. Bembibre. Los carteles indicadores de las horas (hora oficial de verano) se colocan sobre una banda cuyo borde meridional es la hipérbola del solsticio de verano. Esa banda tiene una anchura de 4 centímetros y es de hormigón.



Figura 8. En Castropodame, en las obras de recuperación (año 2005) de las antiguas obras, se optó por señalar las hipérbolas de las fechas, con pintura sobre una superficie de hormigón. En este caso se dibujaron las analemas completas, aunque distinguiendo (color blanco/negro) las dos ramas de cada analema. Pero claro está son sólo horas en punto (TU). No hay fracciones de hora. En la imagen faltan por colocar los carteles de las fechas. En este caso y al ser pintadas, ya se trazaron de modo continuo sin interrupción alguna en el centro del cuadrante.

Como ya dije al principio fijé el límite de representación en una altura de 10° por obvias razones. Aun así, tuve en cuenta el efecto de la refracción y deduje que para mitigar este efecto los bordes de la rama de nacimiento y poniente del cuadrante habrían de rebajarse en 2,7 centímetros respecto a uno rigurosamente horizontal. El problema del



drenaje, la verdad es que en algún caso (Castropodame en las obras de recuperación del año 2005), no lo tuve muy en cuenta y eso fue un fallo.



Figura 9. Obras en Castropodame. Año 2005. Colocación de carteles de fechas del período verano/otoño. Al fondo se observa una de las torres del alumbrado del campo de fútbol, que se midieron para comprobar la nitidez de las sombras.

El hecho de que esas líneas (hipérbolas) en las proximidades de los solsticios estén muy juntas es, como he señalado, un problema importante. En el caso de un cuadrante horizontal, estimo que incluso más acuciante cerca del solsticio de verano que en el otro, pero este punto no lo voy a tratar ahora. No obstante, se da asimismo la circunstancia de que en las horas centrales del día y cerca del solsticio de verano, (que no del otro) las sombras alcanzan su nitidez máxima en el suelo. Hay por tanto aquí dos aspectos que se contrapesan. Este tema lo he vuelto a estudiar ahora (para redactar este artículo) lo mejor que he podido. Lo desarrollo en un punto concreto de este artículo.

Aunque no se tracen las hipérbolas de todas las fechas del año y aunque sobre las analemas la secuencia de fechas sea la señalada (dibujar todos los días del mes daría lugar obviamente a un dibujo muy confuso), es posible estudiar en qué medida es posible determinar la fecha con precisión. Es lo que he estudiado durante décadas. En el número 19 de la revista “Carpe Diem” (septiembre de 2006) ya publiqué un breve artículo dedicado exclusivamente a este tema. Se titula: “Parque Solar de Castropodame: REMATE DE LA AGUJA”. Después me olvidé un poco del tema de la fecha, pero conservé mis apuntes y recientemente he vuelto a estudiar el asunto. Es evidente, por otra parte, que la determinación de la fecha es más fácil de lograr cuando la sombra señalizadora cruza alguna de las ramas de las analemas. Es obvio.

LA BANDA DE PENUMBRA

Es muy sencillo conocer la anchura de la banda de penumbra sabiendo el semidiámetro del Sol (podemos adoptar entiendo el valor de $16'$ es decir $0,27^\circ$) y la altura del punto que produce la sombra. Hablo de altura (y no

distancia en general), porque estamos trabajando con cuadrantes horizontales.

La amplitud (P) de la banda de penumbra, en una superficie colocada perpendicularmente a un rayo solar salido del centro del disco solar y a una distancia D del punto que da lugar a la sombra, es evidentemente la expresada por la sencilla fórmula matemática siguiente: $P = (D \times \text{tg} 0,27^\circ) \times 2$. Si estamos hablando de una superficie horizontal y de la parte superior de un poste vertical de altura A es asimismo sencillo determinar la anchura P de la banda de penumbra $P = A^a ((1/\text{tg}(h-0,27^\circ)) - (1/\text{tg}(h+0,27^\circ)))$.

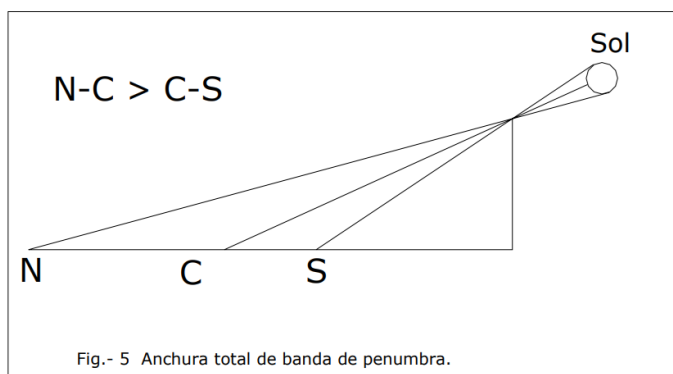


Figura 10. Gráfico que ya inserté en el año 2006, en mi artículo en “Carpe Diem”. La distancia N-C es mayor que C-S.

Yo estimo que el ojo humano tiende a ver el límite de la sombra en la zona C-S de la figura 10, ya que el “medio sol”, queda distribuido en una longitud (anchura) más pequeña. La transición sol/sombra es más rápida en C-S que en N-C. Además, sobre el terreno la sensación que tuve al hacer pruebas hace años, fue que las sombras se acortaban. A simple vista es imposible distinguir los puntos N-C-S y por ello la anchura real de esa banda o borde de penumbra que da cualquier sombra, no se puede medir sobre el terreno. Se puede estimar a simple vista y yo entiendo que la anchura de la banda de penumbra que percibe el ojo humano, es muy inferior a la real. Dato muy importante.

En el caso de un punto ubicado a una latitud de $42,5^\circ$ en las fechas próximas al solsticio de verano (y obviamente en las horas centrales del día) los rayos solares inciden en el suelo con una altura muy próxima a los 71° , luego un objeto ubicado a 3 metros de altura da lugar a una zona de penumbra de (1,048-1,017), es decir 3 centímetros. Pero a simple vista (esto es lo importante), se percibe como una banda de apenas un centímetro. Lo he comprobado de modo reiterado. Es cierto, no obstante, que en el resto del año la banda de penumbra es mayor y el único modo de intentar cuantificar como percibe el cerebro humano esa banda es hacer pruebas sobre el terreno. Yo entiendo que la nitidez de las sombras aumenta a medida que nos alejamos de las mismas, pero al alejarnos también nos resulta más difícil distinguir las referencias, en este caso las líneas de las fechas.

Para no dejar ningún cabo suelto, señalo que sospecho que influyen más factores. Por ejemplo, la rugosidad de



superficie sobre la que se proyecta la sombra, el ángulo bajo el cual el ojo humano ve la banda de penumbra e incluso la subjetividad. Si en un cuadrante solar pintamos una línea indicando que corresponde a una fecha concreta (o a una hora determinada) el observador y sobre todo el observador no muy meticulado (hay muchos) “verá” la sombra tocando esa línea, aunque en realidad se quede corta o se pase de larga. Claro que siempre que no se quede excesivamente corta o larga.

Yo empecé a estudiar el asunto (sobre papel milimetrado), con un objeto (pirámide de cartón) de una altura de 60 centímetros. Después probé con otras alturas. En algún caso eran 60 unidades, pero de sólo dos milímetros, lo que es una altura de 12 centímetros. En papel milimetrado también reflejé la altura del poste vertical que daría la sombra. De este modo, era posible ver la anchura aparente del borde de una sombra de un poste de 60 unidades y contrastarla con la separación que había a la hora de la observación entre los puntos que representaban (sobre las analemas) intervalos de fechas de 5 días o menos. Así, teniendo en cuenta la anchura aparente de la zona de penumbra, fui estimando (sobre el plano en papel milimetrado) la precisión en la indicación de la fecha. Lógicamente para estudiar la precisión con la que se indica la fecha, los momentos más adecuados son aquellos en los que la sombra señalizadora cruza las analemas de horas en punto, dada la secuencia de fechas representada en las mismas.

También, realicé observaciones no sobre el papel milimetrado sino sobre el suelo. Por ejemplo, en el campo de fútbol de Castropodame utilizando la altura de las porterías, una mira taquimétrica de 4 metros e incluso como luego explicaré... las farolas que servían para iluminar el terreno de juego y que se hallan a más de 10 metros de altura. Lógicamente también realicé observaciones después de que en Castropodame (1-11-1997) y Bembibre (casi dos años más tarde), se colocase el objeto (a exactamente 3 metros de altura) que habría de dar lugar a la sombra señalizadora de fechas y horas. En estos casos ya estaban contruidos sendos cuadrantes de 400 metros cuadrados cada uno.

En definitiva, que llevé a cabo ya hace bastantes años, una enorme cantidad de comprobaciones y las he seguido haciendo aún hasta hace pocos días (aprovechando las proximidades del solsticio de verano del año 2024). La conclusión a la que llegué (según veo aún en mis apuntes) es que en muchos casos la precisión es de un día. En otros indiqué que uno o dos. ¿Qué significa esto? Pues cuando hablo de un día, que la fecha deducible por la sombra puede ser una concreta más o menos un día. Incluso en alguna ocasión, llegué a anotar que la sombra señala concretamente la fecha que es. Después de volver a revisar mi cuantiosa cantidad de apuntes, entiendo que, si fuere posible señalar siempre, las hipérbolas de fecha de cada día (y también la del anterior y el siguiente), sería posible saber la fecha sin error alguno en buena parte del año en muchos casos. En otros podría darse una confusión (día anterior o siguiente) de un día y sólo cerca de los solsticios, el error sería claramente mayor. En las proximidades de los equinoccios sucede justo lo contrario, por razones evidentes. Puesto que el problema más acuciante (en un cuadrante horizontal) parece ser la proximidad del solsticio de verano, vamos a ver con detalle que ocurre

cerca del solsticio de verano. No obstante, cuando se acerque el solsticio de invierno, no estaría de más hacer las pertinentes observaciones.

EL SOLSTICIO DE VERANO

En un cuadrante horizontal (Castropodame y Bembibre) ocurre que cerca del solsticio de verano y en las horas centrales del día, la nitidez de las sombras es superior (obviamente) a la del resto del tiempo. Esta circunstancia ya la tuve en cuenta hace años y así lo expuse en el artículo de “Carpe Diem” ya citado (septiembre de 2006). Entonces expliqué que el “artefacto” que debe dar la sombra, debía ser de tamaño suficiente para que la sombra (distancias largas) no se diluyese, pero al mismo tiempo diseñado de modo que en las horas centrales del día y cerca del solsticio de verano se aprovechara la nitidez de las sombras. Ello permitiría y obligaría también, a que, en las horas de mayor altura del sol, el tamaño de los objetos o dibujos que en el cuadrante corresponden a los puntos del papel milimetrado, fuese mucho menor que en el resto del tiempo. Esta cuestión, que en el año 2005 al llevar a cabo las obras de recuperación de Castropodame dejé un poco de lado, la he vuelto de nuevo a retomar.



Figura 11. Plano a escala dibujado en un folio 4-A de la analema de las 13 TU del reloj-calendario solar de Castropodame. La escala es 1/25. Las estrellas pintadas sobre el cuadrante tienen un diámetro de 12 cm y el plano en papel está impreso a escala 1/25. La altura del objeto que da las sombras es de exactamente 3 metros. Es evidente que cerca del solsticio de verano las estrellas se confunden.

En Castropodame se pensó en colocar en principio plantas, en Bembibre se colocaron en efecto plantas que iban alojadas en unos tubos de un diámetro de 12 centímetros. Puesto que en las horas centrales del día y cerca del solsticio de verano los tubos se “amontonaban”, no



hubo más remedio que dejar algunas fechas sin representar. Es decir, no se siguió la secuencia general 1-5-10-15-20 y 25 de cada mes. Ver figura 4.

Finalmente, en Castropodame, cuando se produjo la recuperación de las antiguas obras (año 2005), se pintaron sobre una plataforma de hormigón pulido, estrellas que inscritas en un círculo tienen un diámetro de también 12 cm. Los días 1 de cada mes (ver figura 11) se representaron con una especie de piñas metálicas. El asunto es que el tamaño de las estrellas dibujadas y piñas metálicas, es el mismo en todo el cuadrante. En consecuencia, se produjo de nuevo una gran acumulación que se refleja muy bien en la figura 11, por ejemplo, y otras más.



Figura 12. En este cuadrante el punto que sirve para indicar fechas y horas sería el ubicado en el centro del cuello del pájaro a la altura de la parte donde tiene atado ese lazo azul. Sobre cada analema los intervalos de las fechas son de 5 días.

Lo más correcto hubiese sido utilizar en las horas centrales del día y próximas al solsticio de verano (más de 63° por ejemplo), unos objetos o dibujos de tamaño sensiblemente menor que en el resto. Ver figura 14. En vez de colocar objetos de 12 cm de diámetro, podrían haber sido de sólo 2 centímetros, por ejemplo, y ver además el modo de aprovechar la nitidez de las sombras cuando el Sol está a gran altura. En el mes de junio la nitidez de las sombras es tal, que la sombra de un objeto ubicado a 3

metros de altura, tiene una banda de penumbra inferior a un centímetro de anchura visible a simple vista. Ver figuras 21 y 22 por ejemplo.



Figura 13. Castropodame. Un punto ubicado en el interior del cuello del pájaro y a una altura de 3,00 metros (extremo superior de la mira taquimétrica), es el que da la sombra para señalar fechas y horas. Situación actual.

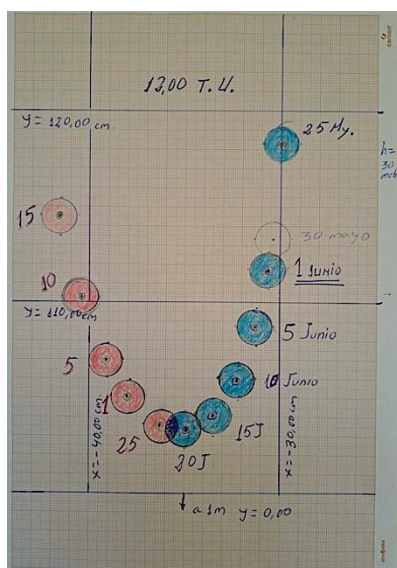


Figura 14. Si el objeto que da la sombra se halla a 3 metros, un rayo del centro del disco solar en las fechas señaladas y a las 12 TU, es decir casi al mediodía solar verdadero, incidiría en el centro de esos círculos. Esta hoja de papel milimetrado es la que aparece en la figura 15 y otras. En una superficie de 10 x 10 cm aparecen dibujadas en este papel las fechas del 5 de junio al 5 de julio.



Figura 15. Castropodame 1997. Objeto diseñado para dar a sombra. Su forma y tamaño son adecuados para que tanto lejos del solsticio de verano y horas centrales el día, como del resto del año la sombra sea lo más precisa posible. Tenía un aspecto un poco “feo”.



Figura 17. Bembibre. En las horas centrales del día (entre la una y las tres de la tarde, por ejemplo) la sombra del objeto que remata la figura se ve perfectamente. El papel colocado en el suelo es el de la figura 14.



Figura 16. Bembibre año 1999. Objeto diseñado para dar a sombra. Su forma y tamaño son adecuados para que tanto lejos del solsticio de verano y horas centrales el día, como del resto del año la sombra sea lo más precisa posible. Aún sigue estando así. En Castropodame en 1997 se colocó un objeto muy similar a este, aunque un poco más “feo”. Figura anterior.

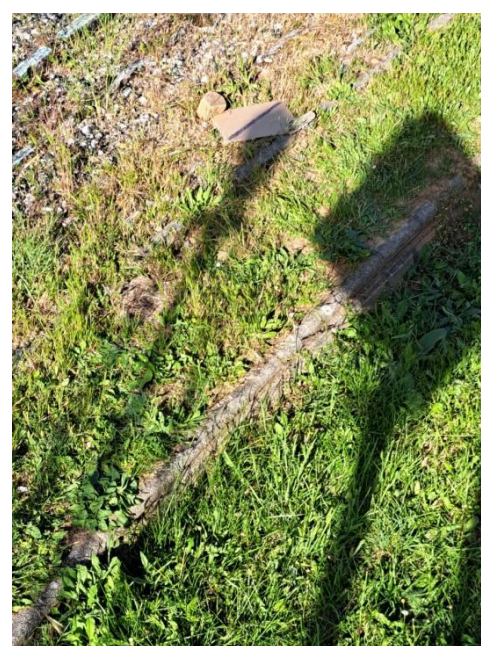


Figura 18. Fotografía realizada el 1 de junio hacia las 7 de la tarde. La línea negra dibujada en el cartón es la que indica la fecha del 1 de junio. Se ve la sombra del objeto de la figura perfectamente y su cumbre, pero ya menos detallada, aunque sigue siendo una indicación precisa.



Figura 19. Bembibre. Fotografía realizada el 20-6-2024 a las 18 horas.



Figura 20. Bembibre. Situación reflejada en la imagen precedente, pero vista más en detalle. Los círculos rojos indican la ubicación del punto que corresponde a las 18 horas del 20 de junio.

. En el caso de Castropodame, en junio se ve perfectamente la sombra del pico del pájaro. Así pues, una buena solución (en el año 2005), hubiera sido que si el sol está por encima de 63° la sombra señalizadora no fuese el cuello del pájaro si no el pico. En definitiva, utilizar dos puntos diferentes para señalar fechas y por lógica también horas.

Otra opción podría ser (ver artículo ya citado de “Carpe Diem”) diseñar un sólo objeto para dar la sombra con unas características muy concretas. Así lo hice en principio, tanto en Castropodame (figura 15) como en Bembibre (figura 16). En el caso concreto de Bembibre y a pesar del enorme abandono del cuadrante en su estado actual, aún es posible seguir estudiando este asunto. La sombra del objeto que está justamente en la cumbre de la figura 16, aparece cuando el sol está a gran altura. Su sombra se distingue perfectamente. Ver figura 17 por ejemplo. Sin embargo, cuando la altura del sol disminuye y aun cuando sea fechas próximas al solsticio de verano la sombra se ve como en la figura 18.

Actualmente el grado de abandono (en Bembibre), es

tal que resulta totalmente imposible para el público en general poder leer la fecha (y la hora) a partir de la sombra del objeto de la figura 16. No obstante como yo tengo las coordenadas de los varios centenares de huecos (plantas) que deberían señalar fechas y horas puedo ser capaz aún (25 años después de su construcción) de comprobar que señala correctamente horas y fechas, si bien estas últimas con las indeterminaciones estudiadas en este artículo.

Cuando, en el año 2005, se procedió a rehabilitar el reloj-calendario solar de Castropodame, dejé un poco descuidado este tema como ya he señalado. Creo que debería haber colocado para dar la sombra un objeto como el de las figuras 15 y 16, pero opté por una figura más “bonita” aunque no fuese tan precisa para señalar fechas. Visto el, en mi opinión, escaso interés del vecindario por este tema, quizá consideré que una figura “bonita” y que todos entendemos (un pájaro) sería más atractivo para el vulgo, que aquellas complicadas estructuras tan raras en las que en principio pensé y que se citan en el artículo de “carpe Diem”.

Un objeto como el de Bembibre (o como el de Castropodame en 1997) hubiese sido lo más acertado, aunque eso sí, dibujando en el cuadrante no estrellas o piñas de varios centímetros de diámetro si no pequeños objetos de un diámetro de 2 centímetros, por ejemplo.



Figura 21. Fotografía realizada el 29 de mayo a las 14 horas y 46 minutos (hora oficial). Los círculos tienen un diámetro de 2 cm. Si se tiene en cuenta donde se ubica el punto señalizador (cuello del pájaro), se ve que la fecha está bastante bien señalizada. Claro que mejor sería haber dispuesto todo para que fuese el pico del pájaro el que señalase fechas y horas en estas fechas. El papel milimetrado colocado en el cuadrante es el de la figura 14.

Otra opción podría haber sido que, para esas fechas/horas en las que se produce ese “amontonamiento”, se eligiere un punto mucho más elevado para dar la sombra y, claro está, representarlas en otro cuadrante. Esto quería hacer yo en principio y por ello tanto en Castropodame como en Bembibre dispuse de unas zonas de forma



semicircular (ya citadas anteriormente) que habrían de ser objeto de un desarrollo específico. Ver figuras 4-5 y 7. Habría que hacer más de un cuadrante como ya señalé. En una palabra, que la clave está en que la nitidez de las sombras compense el hecho de que las líneas de fechas (hipérbolas) estén muy juntas.

Durante los meses de mayo y junio del año 2024, he realizado numerosas observaciones, como siempre con sombras reales y sin “afilarse”, en los cuadrantes de Castropodame y Bembibre. Pese a estar ambos en mal estado de conservación es posible seguir haciendo análisis. Ver figuras 17 y 19 por ejemplo. En un papel milimetrado (figura 14), dibujé con un punto la posición de la sombra dada por un rayo del centro del disco solar y por un objeto situado a 3 metros del suelo exactamente. En torno a cada uno de los puntos dibuje un círculo de un centímetro de radio (una moneda de 2 céntimos de euro). La analema elegida es la de las 12 TU, es decir la más próxima al instante del mediodía solar verdadero en El Bierzo. Las fechas representadas son el 25 de mayo, el 1-5-10-15-20 y 25 de junio y los días 1-5-10 y 15 de julio.

ACOTANDO LA FECHAS

Es sencillo comprobar que entre el 25 de mayo y 1 de junio el desplazamiento es de 6,7 centímetros. Entre el 1 de junio y el día 5 de ese mes sólo 3 centímetros. Entre el 5 y el 10 es de 2,9, entre el 10 y el 15 es de 2,1... y así sucesivamente. Desde el 15 de junio al 25 el desplazamiento es tan pequeño que los círculos de un radio de un cm se tocan. Por tanto, desde el 15 al 25 de junio, si la anchura de la banda de penumbra a simple vista tiene aproximadamente un centímetro, es absolutamente imposible señalar con precisión la fecha. Desde el 25 de junio al 1 de julio el desplazamiento es de 2,2 cm. Por ello la señalización de la fecha sigue siendo complicada. Es fácil confundir por ejemplo el día 27 con el 28 de junio. Entre los días 1 y 5 de julio sucede algo similar. Entre los días 5 y 10 de julio la separación es de 3,5 cm. Si la banda de penumbra es de 1 centímetro (aproximadamente) puede que ya sea posible distinguir entre el 9 y el 10 de julio...pero es quizá afinar mucho. Entre el 10 y 15 de julio la separación es de 4,4 cm, con lo cual quizá ya sea posible no confundir una fecha con la anterior o la siguiente... aunque sigue siendo complicado. Ver con calma la figura 14.

La conclusión es que entre el 10 de junio y el 1 de julio y a pesar de la nitidez de las sombras, no es posible señalar la fecha que corresponde sin duda alguna. Antes del 10 de junio y después del 1 de julio, el error o mejor dicho la indeterminación es de unos 2 días. Es decir, podemos saber que la fecha se sitúa entre el 5 y 10 de junio sin problema, incluso también si es entre el 10 y el 15 de junio (al paso de la sombra por las analemas), también si está entre el 25 de junio y el 1 de julio y por supuesto entre el 1 y 5 de julio..., pero no confundir la fecha con la del día anterior o siguiente es complicado y por supuesto mucho más complicado desde el 15 de junio al 25. No obstante estimo que habría que hacer seguramente más pruebas. Del 15 al 25 de junio las fechas “se amontonan” aún representadas a intervalos de 5 días.

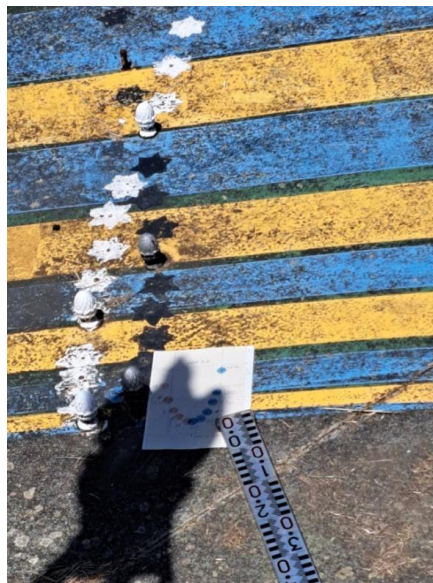


Figura 22. Imagen tomada el día 28 de mayo unos 5 minutos después de las 3 de la tarde. Se ve nitidamente la sombra del pico del pájaro que está a una altura de 3,10 metros del suelo. Los círculos tienen un radio de 1 cm. Si las estrellas blancas y negras se hubiesen sustituido por círculos de un diámetro de 2 cm apenas se produciría “amontonamiento” de fechas. En azul se representan las fechas 25 de mayo, 1-5-10-15 y 20 de junio. En rojo el 25 de junio y los días 1-5-10 y 15 de julio. Ver figura 14.

Lógicamente si dibujamos las ramas de hipérbola de los días 15-20 y 25 de junio estas se confunden con suma facilidad sobre todo en horas centrales del día. La hipérbola del 20 de junio es la del solsticio de verano. En el parque solar de Bembibre (lo comprobé recientemente) la hipérbola del solsticio de verano es el borde meridional de una banda de hormigón de una anchura de 4 cm. Este borde es una línea y las sombras durante varios días (15 al 25 de junio) discurrirán a lo largo del día por ese borde. A pesar de su estado de abandono, aún es posible localizar entre las malas hierbas las posiciones de las fechas de las horas y comprobar que sigue funcionando bien y eso que el año 2024 ...fue bisiesto. Bien para señalar la hora (oficial), pero para la fecha, con las limitaciones indicadas. Cinco días antes y otros tantos después del solsticio de verano, la fecha que indica este cuadrante es a simple vista la misma.

Tengo que añadir que según me ha informado Luis E. Vadillo Sacristán existen los llamados “afiladores de sombras” que permiten reducir la amplitud de la banda de penumbra. Si uno de esos afiladores se pudiese incorporar al utensilio que señala fechas y horas, sería algo realmente interesante, pero yo nada sé de esos afiladores.

En las proximidades del equinoccio, lógicamente y dado que la variación de la declinación es máxima, este problema no existe. En el caso de un objeto de 3 metros de altura y en latitud de 42,5° entre las 12 y las 13 TU la separación de las hipérbolas de fecha en los días 19-20 y 21 de marzo es 4 centímetros. La banda de penumbra perceptible a simple vista debe ser de unos 2 centímetros. Luego aquí sí parece que se pueda indicar la fecha



concreta e incluso ese desfase de “media fecha” si es que lo hubiera. Recordemos lo del problema del año de referencia en un ciclo cuatrienal.

En conclusión, cabe decir que desde el 1 de junio al 10 de julio determinar con rigor y sin duda la fecha que es resulta imposible. A lo máximo que podemos aspirar es a poder determinar que la fecha se encuentra dentro de un intervalo de 5 días. En el otro solsticio y aunque no he realizado un análisis similar, entiendo que debe darse una situación bastante parecida.

CORRECTA ORIENTACION DEL CUADRANTE. NIVELACION

No se me pasó inadvertido que, una cuestión es precisar o estimar el margen de indeterminación que la banda de penumbra permite y otra comprobar además que la fecha es correcta. Aun cuando se dibujasen en el cuadrante las líneas de fecha de todos los días del año (365-366) y aun cuando las sombras tuvieran bordes tan nítidos (con los afiladores) que permitieren saber a simple vista si se indica un día concreto o bien el anterior o el siguiente, un cuadrante mal orientado o un suelo mal nivelado dan lugar a errores en señalización de fechas y horas.

El análisis de este asunto sobre papel milimetrado, es muy adecuado para contrastar la anchura de la banda de penumbra con las separaciones entre las diferentes fechas y así saber cómo he señalado el margen de incertidumbre en la indicación de la fecha, pero además para comprobar el correcto funcionamiento del reloj-calendario, hay que trabajar en una superficie perfectamente nivelada. Yo siempre estuve pensando en un cuadrante horizontal y no en una pared. Si hablamos de un punto ubicado a una altura de 60 unidades y a cada unidad le damos el valor de 2 milímetros tenemos una altura de 12 centímetros (altura del poste). Si el Sol está a 10° la sombra sería de 68 centímetros de longitud. Se necesita ya un trozo de papel considerable. Ese papel sería pues una maqueta, pero para probar si todo estaba correcto había que nivelar y orientar ese gran papel, colocándolo por ejemplo en una mesa perfectamente nivelada. La labor resultaba complicada y por tanto se estimó más oportuno hacer pruebas no con maquetas, sino con superficies que fuesen un suelo real. Así fue como se me ocurrió utilizar el campo de fútbol como campo de pruebas.

En el año 1995 llevé a cabo una serie de labores topográficas a tal efecto, utilizando instrumentos adecuados (teodolito, cinta métrica y mira taquimétrica). El campo de fútbol de Castropodame estaba ya bastante bien nivelado y el terreno de juego era rectangular. Hice un levantamiento topográfico del mismo y determiné con mucho rigor la altura de una serie de puntos (esquinas de farolas luminosas) respecto al terreno de juego. No era lógicamente una superficie rigurosamente horizontal. En este se trazaron curvas de nivel con equidistancia de 5 centímetros y lógicamente se determinó la orientación respecto al Norte Geográfico del terreno de juego. Para ello tracé una meridiana por el punto de saque de esquina (SO) del terreno de juego y comprobé que era un rectángulo perfecto. Los puntos elevados (farolas) proyectarían unas sombras cuya dirección y longitud habría que

analizar y para ello fue preciso hacer esa nivelación citada, con curvas de nivel de 5 cm de equidistancia. Son puntos (farolas) ubicados a una altura superior a los 10 metros sobre el terreno de juego. Tras ello hice varias observaciones en las que pude utilizar la sombra de las esquinas de las farolas para comprobar la exactitud y precisión en la señalización de las fechas.

CONCLUSIONES

Como era de esperar, cualquier calendario que usamos en la vida cotidiana señala la fecha con más comodidad y precisión que un calendario solar. Hace ya muchos años el catedrático Fernando Martín Asín, citó en una de sus obras un reloj de sol ubicado en Ginebra, en el cual se dibuja la variación anual de la declinación y se hace de tal modo que en este reloj se señala además de la hora también la fecha, pero como señala el citado catedrático, se hace de modo sólo aproximado. La fluctuación anual de la declinación y el valor de la ecuación del tiempo sirven para conocer (de modo aproximado) la fecha, pero no con la exactitud de cualquier calendario de los usados en la vida cotidiana.

No obstante, no hemos de olvidar que en la actualidad los relojes y también los calendarios solares, tienen como finalidad la divulgación de conocimiento humano, adquirido a lo largo de los siglos y también servir como elementos decorativos o paisajísticos. Así pues, siguen siendo de gran utilidad como elementos didácticos. Por si fuese poco resulta que, en cuanto a la señalización de la hora, los relojes de sol siguen teniendo más precisión que muchos de los relojes de sol de otros tipos (los de torre, por ejemplo) que aún siguen siendo utilizados. El de Castropodame, por ejemplo, cuyo desfase es detectado a menudo por el reloj de sol del Parque Solar Didáctico de esa localidad.

Por último, agradezco a Luis E. Vadillo Sacristán, sus acertados comentarios, así como la revisión y maquetación de este artículo que, finalmente, ha resultado más extenso de lo que yo pensaba y que nos ha ocupado bastante tiempo a ambos.

Rogelio Meléndez Tercero
Bembibre, 12 de junio de 2025



BIBLIOGRAFÍA

MARTÍN ASÍN F. “ASTRONOMÍA” (tercera edición). Madrid 1990. Pag.244.

MELÉNDEZ TERCERO R. “Parque Solar de Castropodame: Remate de la Aguja”
Revista “Carpe Diem” nº 19, septiembre de 2006.

MELÉNDEZ TERCERO R. “[Los mineros del Bierzo y los relojes de sol](#)”
Boletín de la AARS-A045, julio de 2015.

MELÉNDEZ TERCERO R. “[Parques solares didácticos del Bierzo, luces y sombras](#)”
Boletín de la AARS-A049, enero de 2021.