



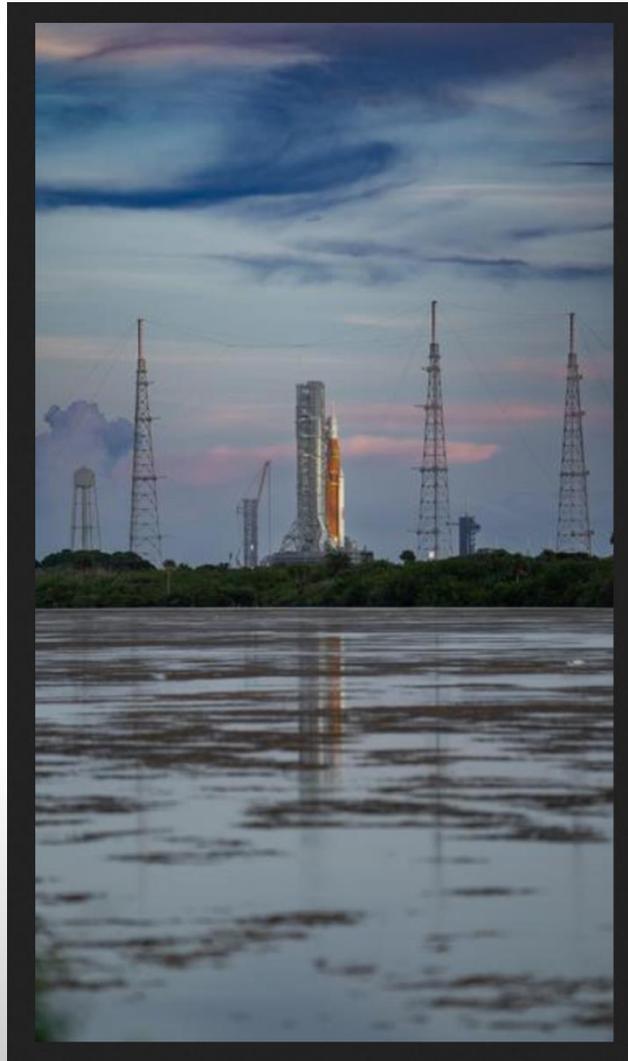
Factores Humanos y Ergonomía (HFE) en Operaciones Espaciales

Dr. Kathleen Mosier

**Emeritus Professor, San Francisco State University
Past President, International Ergonomics Association
Founder & Principal Scientist, TeamScape LLC**

SEMAC Conference, March 2025

¿Irías al espacio? ...





¿Irías a Marte?

- En 2013, el proyecto Mars One hizo una convocatoria internacional para voluntarios que participaran en una misión de ida y vuelta para colonizar Marte, sin regreso a la Tierra.
- ¿Cuántas personas respondieron?

¡¡¡Más de 200.000!!!

Los Viajes Espaciales Están en Nuestro Futuro

Arquitectura de la NASA de la Luna a Marte



- **Numerosos problemas y desafíos del HFE que deben abordarse para lograr misiones espaciales exitosas de larga duración y larga distancia.**

Desafíos



- **Físico**
- **Fisiológico**
- **Cognitivo y Psicosocial**

- **Interacciones complejas entre desafíos**
- **Todo desafío debe abordarse mediante el enfoque sistémico HFE**
- **Objetivo: mejorar el rendimiento y el bienestar humano**



¿Cuáles son algunos de los desafíos específicos de la HFE para las operaciones espaciales?

~ Breves resúmenes de nuestras investigaciones



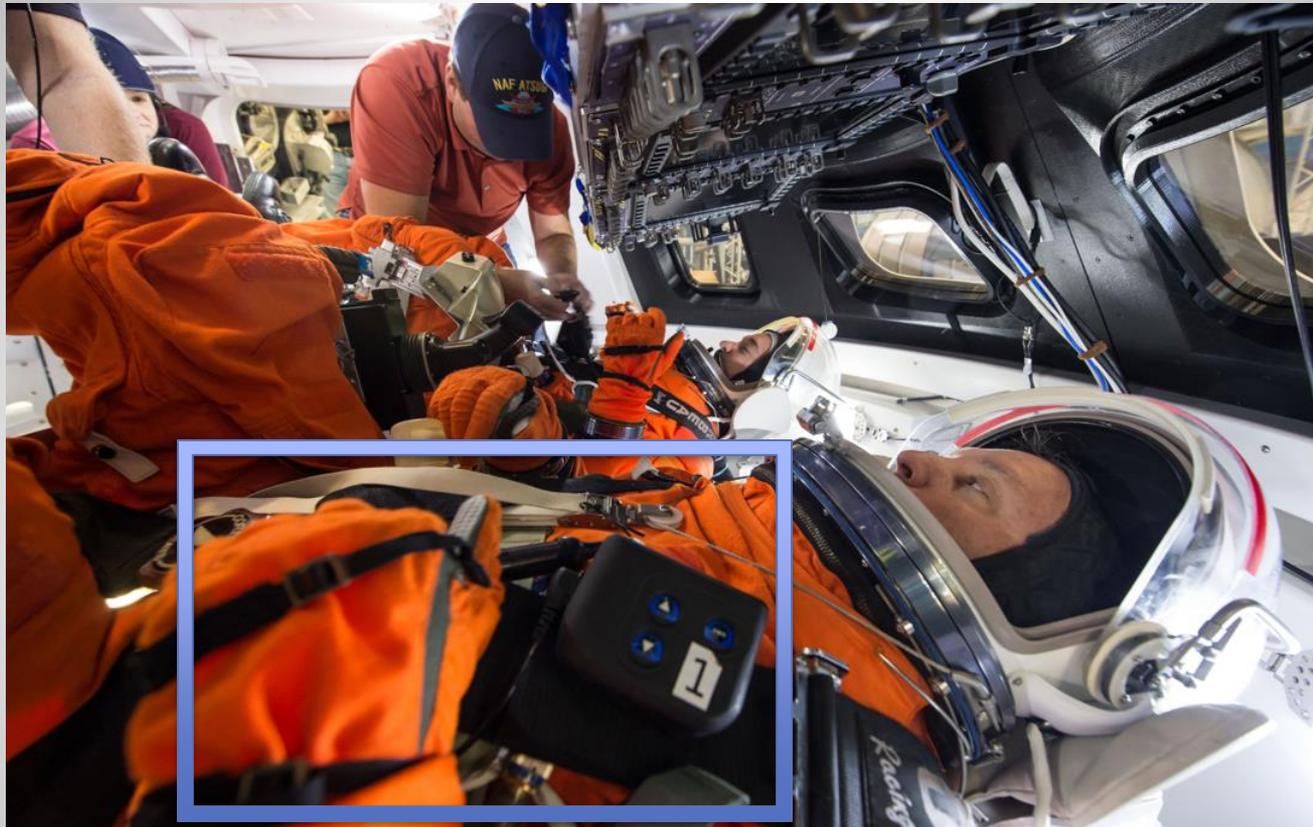
HFE - Desafíos físicos del vuelo espacial

HFE - Diseño para el rendimiento y el bienestar



- Diseño de ropa y equipamiento
- Sostenibilidad y usabilidad

¿El traje espacial es resistente, pero también ligero y flexible para moverse y trabajar?



¿Pueden los astronautas manipular los controladores con guantes puestos?

¿Cómo diseñar la nave espacial para el rendimiento y el bienestar?



Tamaño aproximado del módulo básico para 4 tripulantes

Diseño de hábitat para facilitar el rendimiento y el bienestar

Living in Space



¿Cómo crear un hábitat habitable y funcional en un espacio pequeño?

- **Diseño del espacio de trabajo**



¿Cómo diseñar espacios de trabajo que encajen en áreas pequeñas y faciliten el rendimiento y el bienestar?

Diseño para el rendimiento y el bienestar



¿Puede la tripulación realizar su trabajo en el espacio provisto?



Diseño de ejercicios para el rendimiento y el bienestar



Oklahoma State's exercise system is conceptualized in an analog habitat system.

Credits: Oklahoma State University

¿Cómo permitir que los astronautas se mantengan saludables y en forma en gravedad cero?

Diseño de espacios para la privacidad y el descanso para mejorar el rendimiento y el bienestar

Journey to Mars



¿Cómo proporcionar a los astronautas suficiente espacio privado?
¿Cómo diseñar el espacio para facilitar un sueño adecuado?



Desafíos fisiológicos del HFE en los vuelos espaciales

- Radiación
- Cambios de gravedad
- Problema de sueño
- Músculos
- Ojos



Scott and Mark Kelly

Gemelos idénticos

Estudio de un año

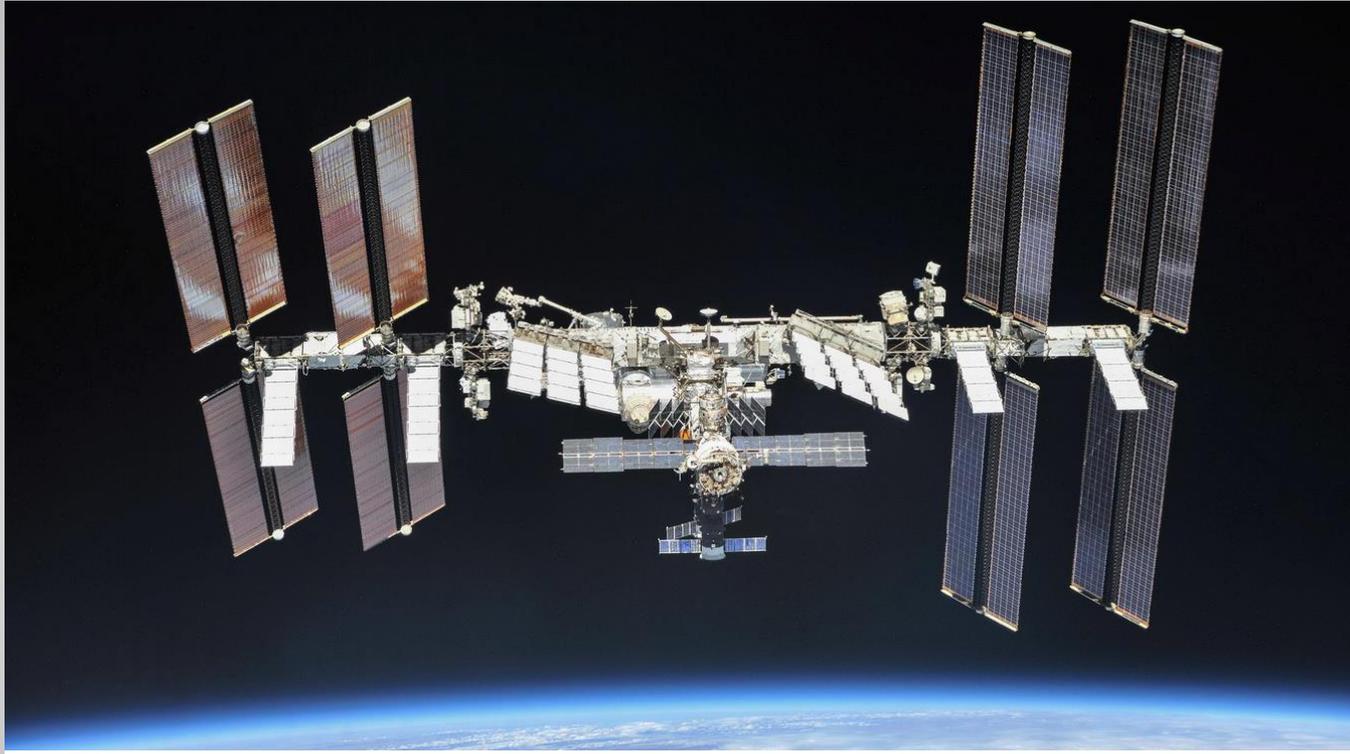
Mark Kelly en la Tierra

Scott Kelly en la Estación Espacial Internacional

Medidas fisiológicas para determinar los cambios debidos al espacio



Estación Espacial Internacional (ISS)





Desafíos cognitivos y psicosociales del HFE en los vuelos espaciales

**¡El bienestar de la tripulación
espacial es fundamental para el
éxito de la misión!**

OPERACIONES ACTUALES DE MISIONES ESPACIALES

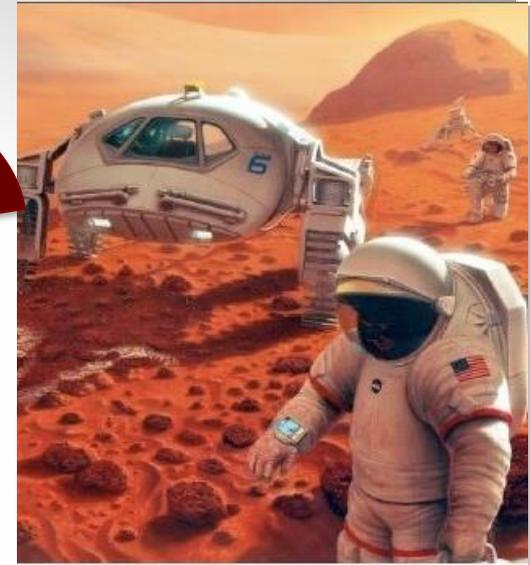


- Estrecha colaboración entre el Centro de Control de Misión y la Tripulación espacial
- La tripulación realiza las tareas según lo programado y las instrucciones de tierra.
- El equipo de tierra monitorea el estado de la misión en tiempo real

FUTURAS MISIONES DE EXPLORACIÓN ESPACIAL



**SOPORTE EN TIEMPO REAL
NO SIEMPRE ES POSIBLE**



**~ RETRASO EN LA COMUNICACIÓN ENTRE
LA TIERRA Y EL ESPACIO - ¡Hasta 22 minutos!**

**~ AUTONOMÍA DE LA TRIPULACIÓN: NUEVO CONCEPTO DE
OPERACIONES**

→ NUEVOS RETOS COGNITIVOS Y PSICOSOCIALES DE LA HFE

Desafíos

Las tripulaciones espaciales deben ser

- ❖ Cohesionadas
- ❖ Resilientes
- ❖ Adaptables
- ❖ Autónomas



El Sistema Multiequipo Espacio/Tierra (MTS) debe

- ❖ Garantizar el apoyo y la información
- ❖ Comunicarse de manera efectiva y eficaz
- ❖ Compartir la comprensión de la situación
- ❖ Coordinar y colaborar

Preguntas de investigación sobre la autonomía de la tripulación espacial

¿Qué significa autonomía de la tripulación?

¿Cómo debería implementarse?

Factores desencadenantes de la autonomía

- Distancia
- Duración de la misión
- Retardo en la comunicación

¿Cómo afectará la autonomía a la relación espacio-tierra?

¿Cómo mantener un sistema de transporte de misión colaborativo (MTS)?



Autonomía de la tripulación: Nuestra investigación



- **Revisión bibliográfica**
- **Experimentos en análogos de HERA y SIRIUS: entornos aislados y confinados**
- **Desempeño de tareas con diferentes niveles de autonomía**



HERA - Análogo de investigación experimental humana



4 MISIONES 45 DIAS



Фотография 1 из 17
Medical-technical ground-based experimental complex (NEC) 2017.

NEK Análogo,
Moscow

MISIONES -
Misiones
Misiones

SIRIUS Misiones

Autonomía de la tripulación: Nuestra investigación



- **Entrevistas con expertos:**
investigadores, participantes
análogos, personal de control
de misión, astronautas
actuales y anteriores



¿Qué encontramos?

Perspectivas preliminares

LA AUTONOMÍA DE LA TRIPULACIÓN REQUIERE:

- ~Experiencia crítica a bordo
- ~Calidad de la información
- ~Comprensión de las prioridades y objetivos
- ~Confianza y relación de trabajo entre tierra y tripulación





¿Qué encontramos?

Perspectivas preliminares

LA AUTONOMÍA DE LA OPERACIÓN DEPENDE DE:

- ~Horizonte de eventos/criticidad temporal
- ~¿Se requiere colaboración en tierra?
- ~Capacidad para mantener a tierra informada
- ~Tecnología facilitadora: por ejemplo, procedimientos electrónicos, herramientas de programación
- ~Retraso en la comunicación





Retraso en la comunicación

Nuestra investigación

¡Comunicarse con retraso no es fácil!

- Sin retroalimentación inmediata.
- Seguir la conversación es cognitivamente exigente.
- Las personas se "pisan" entre sí



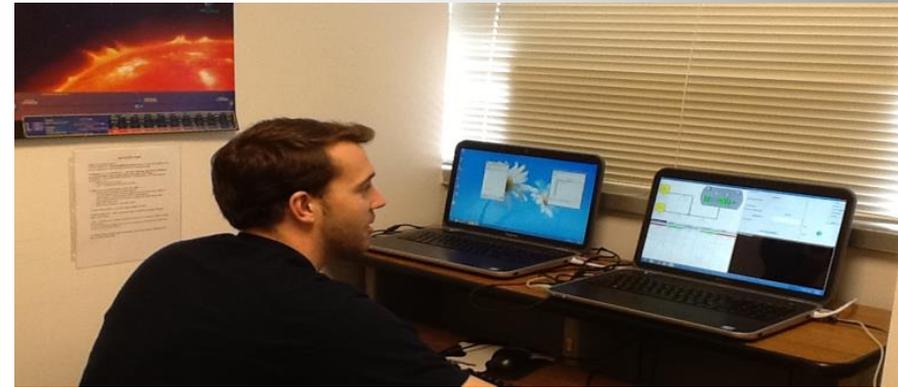
Las situaciones dinámicas en el espacio requieren

- Una comprensión compartida de la situación.
- Transferencia completa de información.





Nuestra investigación: Identificar problemas y brindar soluciones



Tripulación espacial
Nave espacial pionera



Equipo de sistemas de vuelo
Estación espacial US

Retraso de comunicación de 5 minutos

Colaboradora – Dr. Ute Fischer, Georgia Institute of Technology



Problemas

- **Las personas usan los mismos hábitos que en las comunicaciones normales, por ejemplo, "entiendo"**
- **Las personas pierden la noción del ritmo de los mensajes.**
- **Las personas envían mensajes en segmentos cortos (como mensajes de texto).**
- **Las personas no pueden seguir el hilo de los mensajes (tema).**



Protocolos

Cómo comunicarse

1. Tiempo: controlar el tiempo de los mensajes
2. Hilos: organizar los mensajes que van juntos
3. Eficiencia de la transmisión: transmitir la mayor cantidad de información posible en las transmisiones

VOICE PROTOCOL

CALL SIGN - Alert to Communication & TIME

- TO ---, TO ---, FROM ---,
- STANDARD TIME -----

TOPIC - Keep track of THREADS

- **If new topic, identify issue**
- **In response** to message by MCC (Crew)
 - IDENTIFY and ACKNOWLEDGE message
 - Briefly SUMMARIZE
 - SPECIFY what NEEDS CLARIFICATION

MESSAGE BODY - TRANSMISSION Efficiency

- ALL relevant INFO that you know/want
- ORGANIZE Information into chunks
 - Categories (e.g. Task-1; Task-2...)
 - Sequences (e.g., 1st, 2nd..)
 - Condition and Actions (If ..., then)
- Make structure explicit -- LABEL chunks
- REPEAT critical elements

CLOSING

- OVER

VOICE CONVENTIONS

TIME

- Note WHEN you can EXPECT RESPONSE
- Avoid RE-TRANSMITTING earlier message
 - Unless response is overdue
 - Identify any re-transmission as a repeat

THREAD

- KEEP LOG of outgoing and incoming messages
- POSTPONE transmission of NON TIME CRITICAL message while waiting for critical information from MCC (Crew)
- ACKNOWLEDGE ALL communications
 - Answer questions; acknowledge answers / statements
 - Let MCC (Crew) know if you need time to respond

TRANSMISSION EFFICIENCY

- ANNOUNCE ahead of time when you intend to transmit critical or complex info
- Don't talk during incoming messages
 - Say PAUSING and stop talking
 - Say REPEATING MESSAGE, then restate, or if necessary modify, your disrupted message

TEXT PROTOCOL

CALL SIGN - Identify addressee

- TO ---

TOPIC - Keep track of THREADS

- If NEW topic, **identify issue**
- IN RESPONSE to message by MC (Crew)
 - **Identify** and **Acknowledge** message
 - Briefly **Summarize**
 - **Specify** what needs clarification

MESSAGE - TRANSMISSION Efficiency

- ALL relevant INFO that you know/want
- ORGANIZE Information into chunks
 - **Categories** (e.g. Task-1; Task-2...)
 - **Sequences** (e.g., 1st, 2nd..)
 - **Condition and Actions** (If, then)
- Make structure explicit -- LABEL chunks
- Type critical elements in CAPS

CLOSING

- OVER

TEXT CONVENTIONS

TIME

- Note WHEN you can EXPECT RESPONSE
- Avoid RE-TRANSMITTING earlier message
 - Unless response is overdue
 - Identify any re-transmission as a repeat

THREADS

- POSTPONE transmission of NON TIME CRITICAL message while waiting for critical info from MC (Crew)
- ACKNOWLEDGE ALL communications
 - Answer questions; acknowledge answers / statements
 - Let MC (Crew) know if you need time to respond

TRANSMISSION EFFICIENCY

- ANNOUNCE ahead of time when you intend to transmit critical or complex information
- CHECK regularly for new messages
 - There's no chime to alert you
- If new message arrives while you are typing, VERIFY validity of your original message before sending it

HERA - Análogo Investigación experimental humana





NEEMO - NASA Operaciones en entornos extremos



Resumen de datos analógicos



Los protocolos estructurados pueden reducir el impacto negativo del retraso en la comunicación

- Los protocolos mantuvieron la percepción de eficacia en la comunicación entre las tripulaciones espaciales y el centro de control de la misión.
- Las tripulaciones del grupo de control (sin protocolos) dudaron en contactar al MCC
- Se utiliza ahora un video de capacitación sobre protocolos para preparar a los participantes analógicos ante retrasos en la comunicación.
- Investigación actual que prueba la solución tecnológica.

Braiding (Trenza)



The screenshot shows a user interface for a "This Braid" Primary Readings session. At the top, there is a green progress bar and a red infinity symbol. Below the title "This Braid | Primary Readings", there are "Previous" and "Next" navigation buttons. The main content area is titled "ACTIVE BRAID" and contains a conversation thread. The thread starts with a message from "Mission Control" asking for primary readings for CO2 and O2. This is followed by a response from the user providing detailed error and sensor data. Then, Mission Control provides instructions for repairing the O2 valve. The final message from the user reports the successful repair and current system status. At the bottom of the thread is a "Respond here" input field.

~Ambas partes escriben simultáneamente

~Organiza los hilos de conversación en "trenzas"

~Rota a un ritmo predeterminado según el retraso en la comunicación

~Mantiene la conexión y la interacción

(Braided Communications Ltd.)

- ~Análisis del trenzado con equipos remotos de 2 personas
- ~Retraso en la comunicación (aproximadamente 4 minutos por vía)
- ~Comparación del trenzado con los mensajes de texto estándar en tareas operativas relevantes
- ~Encuestas y entrevistas posteriores a la sesión

BRAIDING VS TEXTING

ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN (N=14)

Conversación más organizada
Más natural e intuitiva

Mas inconexa
Desafiante de seguir

CONTINUIDAD DE LA INTERACCIÓN (N=11)

Retraso casi imperceptible
Conexión sentida con la pareja

Retraso muy destacada
La pareja parecía desconectada

EFICIENCIA DE LA COMUNICACIÓN (N=11)

Organización automática
Uso eficiente del tiempo
Mantiene a todos en el tema

Estructura autogenerada
Se sintió presionado
Más difícil concentrarse



Próximos pasos para nosotras

- **Comparación del trenzado con la voz para latencias lunares (4-15 segundos)**
- **Realizar entrevistas de autonomía de la tripulación y formular recomendaciones.**
- **¡Se necesita mucha más investigación!**



¡Muchas gracias por su atención!

¡Viva México!

ACKNOWLEDGMENTS:

Funding provided by NASA Agreements NNX12AR19, 80NSSC21K0444, NNX16AM16G, between NASA Johnson Space Center, Georgia Tech and San Francisco State University or TeamScope LLC.

All images courtesy of NASA.gov

Kmosier@sfsu.edu

kathleenmosier@yahoo.com