

*¡Soy Autónomo,  
soy calidad!*



Institución vigilada por MinEducación

# Técnicas multicriterio para selección de fuentes de generación de energía eléctrica para zonas no interconectadas

Johnny Posada Contreras

Jairo Norberto Benavides

Universidad Autónoma de Occidente

Agosto - 2019

## Panorama nacional

1. En Colombia, el suministro de energía eléctrica tiene una cobertura promedio del 96.10% (UPME, 2014)
2. El suministro se realiza a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN) o con soluciones aisladas de generación de energía.
3. Las soluciones aisladas son empleadas principalmente en las ZNI.
4. Representan el 66% del territorio nacional (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2006). Estas ZNI fueron definidas como las poblaciones fuera del SIN mediante la Ley 855 de 2003 (Congreso de Colombia, 2003).

## Problemática general

1. Las investigaciones se centran en criterios técnicos de los proyectos de desarrollo y máximo se evaluaba los costos de su implementación, operación y su administración.
2. Se dejaban fuera dimensiones claves del desarrollo de una región como lo es el ambiente, la organización social, equidad de género, su cultura de pago o su imaginario asociado a los recursos que se dispone.

## Propuesta metodológica

El análisis multicriterio, Multi-Criteria Decision Analysis, o MCDA, es una herramienta que permite mejorar la toma de decisiones que requieren la combinación de diferentes aspectos. Adicionalmente a otras metodologías, dicho análisis involucra aspectos que normalmente se han dejado por fuera, como aspectos sociales, culturales y ambientales son valorados al mismo nivel que los aspectos técnicos y económicos para darle validez a la selección.

Reporte interno proyecto “Metodología multicriterio para la selección de alternativas sostenibles de microrredes de suministro de energía eléctrica para zonas no interconectadas de Colombia”

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar una metodología, partiendo de un análisis sociocultural, económico-administrativo, técnico y ambiental, para la implementación de micro-redes de generación de energía eléctrica sostenible aplicable en zonas no-interconectadas.

# IMPACTOS DEL PROGRAMA

## Impacto Innovación

Propuestas novedosas de procesos de inclusión social en procesos de definición de sistemas de generación y distribución de energía eléctrica en zonas no interconectadas de Colombia

Procesos de generación en ZNI con recursos energéticos propios de una región

Inclusión social y transferencia tecnológica de conocimiento a comunidades



# IMPACTOS DEL PROGRAMA

## Impacto Social, económico y ambiental

Propuestas de generación de energía eléctrica y distribución de energía sostenibles, mediante la inclusión social, actividades económicas de la región buscando la armonía con el ambiente

Oportunidades de desarrollo en las comunidades: Acceso a información, internet, etc.

Mejoramiento de la calidad de vida

## Transferencia de conocimiento

Internacionalización al buscar pares colaboradores de alto impacto a nivel internacional

Articulación de los procesos de formación



### Objetivo

Diseñar una metodología, partiendo de un análisis sociocultural, económico-administrativo, técnico y ambiental, para la implementación de micro-redes de generación de energía eléctrica sostenible aplicable en zonas no-interconectadas.

### Alcance

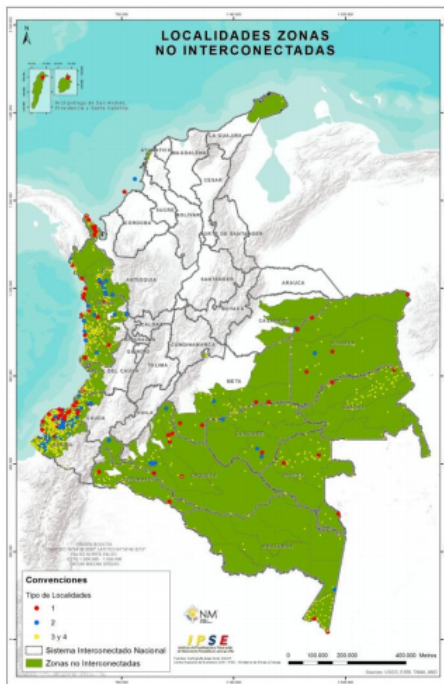
Obtener una metodología la cual permita establecer, de forma clara y efectiva, el esquema de micro red de generación de energía eléctrica más adecuado para una comunidad ubicadas en una de las ZNIs definidas por la CREG, considerando siempre factores: sociocultural, económico-administrativo, técnico y ambiental, de modo que la metodología desarrollada brinde opciones que garanticen la sostenibilidad económica, ambiental y social del esquema de micro red seleccionada.

### Técnico y Social

2

***Generación y suministro de energía eléctrica sostenible para zonas no interconectadas de Colombia.***

# REGIÓN DE IMPACTO



Fuente: IPSE - CNM

ZONA ZNI

ZONA SIN

## Sistema Interconectado Nacional (SIN)

“Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y los equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios” .

Artículo 11, Ley 143 de 1994

## Zonas No Interconectadas (ZNI)

“Para todos los efectos relacionados con la prestación del servicio público de energía eléctrica se entiende por ZNI a los municipios, corregimientos, localidades, y caseríos no interconectados al SIN – Sistema Interconectado Nacional”.

Artículo 1º, Ley 855 de 2003.

<https://www.minminas.gov.co/>



# RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MICRORREDES

Retos tecnológicos para el desarrollo de micro-redes en zonas no interconectadas

Retos para la transferencia de tecnología a la comunidad

## Retos para el desarrollo de micro-redes en zonas no interconectadas :

- El desarrollo de sistemas de monitoreo y control en pro de mantener altos estándares en la calidad de la energía eléctrica suministrada, utilizando fuentes de generación intermitentes y un alto nivel de automatización.
- La implementación de un sistema de comunicación flexible y robusto ante fallas.
- Nuevos algoritmos de despacho económico que involucren fuentes de energía no convencionales.
- Bajo costo.
- Bajo mantenimiento.
- Micro redes sostenibles de bajo impacto ambiental y socio-cultural.

# RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MICRORREDES

|                                   |       |        |                                 |
|-----------------------------------|-------|--------|---------------------------------|
| Johnny Posada Contreras           | Ph.D  | GIEN   | Facultad de Ingenierías         |
| Jaime Quintero Restrepo           | Ph.D  | GIEN   |                                 |
| Jesus Alfonso López Sotelo        | Ph. D | GIEN   |                                 |
| Yuri Ulianov López Castrillón     | Ph.D  | GIEN   |                                 |
| Diego Martínez Castro             | Ph.D  | GITCoD |                                 |
| Juan Ricardo Vidal                | Ph. D | GIEN   |                                 |
| Jimmy Tombe Andrade               | M.Sc  | GITCoD |                                 |
| Jairo Norberto Benavides Martinez | MSc   | GIDMI  | Facultad de Comunicación Social |
| Victoria Eugenia Concha           | M.Sc  | GCCS   |                                 |
| Monica Piedrahita Echeverry       | M.Sc  | GIDMI  |                                 |
| Natalia Campo Castro              | Ph.D  | GIDMI  |                                 |
| Marisol Gordillo                  | Ph.D  | GIMS   | Facultad de Ciencias Básicas    |

Grupo de Investigación en Energías  
 Grupo de Investigación en Mecánica de Fluidos  
 Grupo de Investigación en Modelado y Simulación  
 Grupo de Investigación Comunicación y Cambio Social  
 Grupo de Investigación Diseño, Mediación e Interacción  
 Grupo de Investigación en Telemando y Control Distribuido GITCoD



Universidad  
del Valle



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO



## RESULTADOS

- Herramienta metodológica para determinar el tipo de micro generación de energía eléctrica que se puede utilizar en zonas no interconectadas (ZNI).
- Guía metodológica para determinar el tipo de micro generación de energía eléctrica en ZNI en Colombia.
- Prototipo de micro red con diferentes tipos de fuentes de generación de energía eléctrica. Prototipo modular, escalable y adaptable, de tal forma que su replicabilidad a una zona no interconectada se pueda realizar fácilmente
- Diseño e implementación de algoritmos que permiten el funcionamiento económico y sostenible a través del tiempo de una micro-red en ZNI

3

***Generación y suministro de energía eléctrica sostenible para zonas no interconectadas de Colombia.***



## RESULTADOS – Estructura de la microrred

| Tipo de Fuente | HORAS DEL DIA |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Solar          |               |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| Eólica         |               |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |
| BioMasa        |               |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Hydro          | ■             | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| Diesel         |               |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| Bess           | ■             | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |

Se considera que:

1. La energía almacenada se suministra solo en horas de madrugada, y se almacena durante las horas de generación de energía con recurso solar e hídrico.
2. El potencial hídrico no se considera trabajando al 100% de suministro, por el contrario se deja en posibilidad que el operador o gestor de red pueda tener una potencia de reserva para responder ante cambios súbitos de carga.
3. Se busca la minimización de uso de combustible diésel

# RESULTADOS

Metodología multicriterio (MCDA) para la selección de alternativas sostenibles de micro redes de suministro de energía eléctrica para zonas no interconectadas (ZNI) de Colombia

El análisis multicriterio, es una herramienta de evaluación de diversas posibles soluciones a un determinado problema, considerando un número variable de criterios, se utiliza para apoyar la toma de decisiones en la selección de la solución más conveniente.

## Matriz tradicional de evaluación de alternativas

|              |     | Criterios |         |     |         |
|--------------|-----|-----------|---------|-----|---------|
|              |     | C1        | C2      | ... | Cm      |
| Pesos        |     | W1        | W2      | ... | Wm      |
| Alternativas | A1  | A1 (C1)   | A1(C2 ) | ... | A1 (Cm) |
|              | A2  | A2 (C1)   | A2(C2 ) | ... | A2 (Cm) |
|              | ... | ...       | ...     | ... | ...     |
|              | An  | An (C1)   | An(C2 ) | ... | An (Cm) |

Fuente: Manyoma 2015.

# RESULTADOS

Metodo  
suminis

Para el

**ZN** GENERACIÓN Y SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA SOSTENIBLE PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS EN COLOMBIA  
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

INVITA:  
**PRESENTACIÓN OFICIAL DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN**  
**PANEL DE EXPERTOS**  
PARA CONFRONTAR LA METODOLOGÍA, EL DISEÑO Y LA SELECCIÓN DE CRITERIOS.

**MARZO DE 2017 21**  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
2:00 PM | AUDITORIO XEPIA

EN ASOCIO CON:  
Universidad del Valle LEMT COPPE UFRJ

de alternativas sostenibles de micro redes de no interconectadas (ZNI) de Colombia

AHP (Analy  
ca TOPSIS,



# MICROREDES ELECTRICAS SOSTENIBLES PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS

¡Soy Autónoma, soy calidad!



Institución vigitada por MinEduación

| COMPONENTE SOCIO-ADMINISTRATIVO |                          | COMPONENTE ECONOMICO-AMBIENTAL   |  |  |  |   |   |    |
|---------------------------------|--------------------------|--|--|--|--|---|---|----|
| COMPONENTE SOCIO-ADMINISTRATIVO |                          | COMPONENTE ECONOMICO-AMBIENTAL   |  |  |  |   |   |    |
| FACTO                           | FACTOR                   | DETALLE  | FACTOR   | DETALLE DEL FACTOR   | INDICADOR  | DETALLE DEL INDICADOR - Medición  | PESOS SEGUN INDICADOR   |    |
| Aceptación                      | Costo                    | Comparar beneficios y costos del proyecto                                      | <b>COMPONENTE TÉCNICO</b><br>El grupo de elementos o componentes seleccionados para la implementación en ZNI. Así como el tipo de sistema y el nivel de precisión que se requiere en medición, monitoreo y control |  |  |   |   |    |
|                                 | Nivel de Calidad de vida | Condiciones de vida de alto grado  |  |  |  |   | <b>FACTOR</b> <b>DETALLE DEL FACTOR</b> <b>INDICADOR</b> <b>DETALLE DEL INDICADOR - Medición</b> <b>PESOS SEGUN INDICADOR</b> |    |
| Practica Sociocultural          | Logística en reversa     | Evaluar la retroalimentación de la tecnología e identificar otras alternativas | Afecta Esp   | Recurso Energético   | Mide la cantidad de recurso disponible por fuente de generación          | TEP   | Potencial de generación x recurso en unidades respectivas al recurso. Se realiza un ranking en Ton equivalentes de petroleo   | 65 |
|                                 |                          |  | Impacto  | Disponibilidad del recurso   | Tiempo en horas al día que se dispone del recurso en condiciones óptimas | DIS   | Disponibilidad del recurso que permite la generación de energía eléctrica horas/día   | 35 |
| <b>SUMA DE PESOS</b>            |                          |  |  |  |  |   | <b>100</b>  |    |
|                                 |                          |  | Vulnerabilidad Ambiental   | Vulnerabilidad de la tecnología frente a los efectos de los cambios del clima. | V  | Asigna un valor de vulnerabilidad de acuerdo con la clasificación de vulnerabilidad del territorio establecido por el IDEAM.              | 4,4   |    |
|                                 |                          |  | Generación de Gases de Efecto Invernadero  | Emisiones de CO2 por tecnología  | ECO2   | Calcula las emisiones de dióxido de carbono por las actividades de transporte, instalación, operación y mantenimiento de cada tecnología. | 15,7  |    |
| <b>SUMA DE PESOS</b>            |                          |  |  |  |  |   | <b>100</b>  |    |



# RESULTADOS

| Comunidades étnicas de las ZNI |                                     |        |   |   |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------|---|---|
| Etnia                          | Población                           | %      | Ubicación   | Riqueza Cultural  |
| Indígenas                      | Total País.<br>1'378.884 En<br>ZNI. | 3,4%   | 87 pueblos de Zonas de selva como la Amazonía y Costa Pacífica; bosques andinos, valles bajos interandinos y planicie Caribe, Sierra Nevada de Santa Marta, península de la Guajira, y en grandes ciudades. | Lenguas nativas-Mitologías-<br>Saberes ancestrales<br>Medicinas ancestrales (tabaco, Yagé, Coca, Hierbas)<br>Artesanías<br>Sistema Jurídico Propio (Palabreros)<br>Formas organizativas (resguardos-Minga- gobernabilidad)<br>Danzas.<br>Variedad de cultivos<br>Sacralización del territorio<br>Formas de representación simbólica                               |
|                                | 840.000                             | 2,1%   |   |   |
| Afrocolombianos                | 4'311.757                           | 10,6 % | Nariño, Chocó, Valle, Antioquia, Bolívar y Cauca.   | Saberes ancestrales Afros.<br>Medicinas ancestrales (Curado)<br>Músicas propias (Violines caucanos- marimba, tambores).<br>Sincretismo manifestaciones mágico religiosas<br>Consejos comunitarios /governabilidad.<br>Bailes propios (Currulao), fiestas populares (balsadas de los santos en el pacífico). Cantaoras- Canciones de Cuna, de velorios. Palenques. |
|                                | En ZNI. 950.000                     | 2.33%  | Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Chocó.  |   |
| Pueblo Rom<br>(Gitano)         | 4832 personas.<br>En ZNI.<br>120    | 0,09%  | Norte de Santander, Santander, Cordoba, Sucre, Antioquia, Nariño.   | Lengua Rromani<br>Shero Rrom (adultos mayores) Consejo de Mayor..<br>Kriiss Rromani (sistema jurídico)<br>Historias Matrias (mujeres)   |
| Raizales                       | 76.442                              |        | Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina  | Lengua nativa: El creole. Sincretismo religioso, musical, cultural (Rituales religiosos)<br>Músicas /danzas   |

# RESULTADOS

1. Asignación de sub-criterios: Cada criterio debe definir sub-criterios medibles o no medibles
2. Cada sub-criterios debe tener indicadores medibles cuantitativa o cualitativamente.

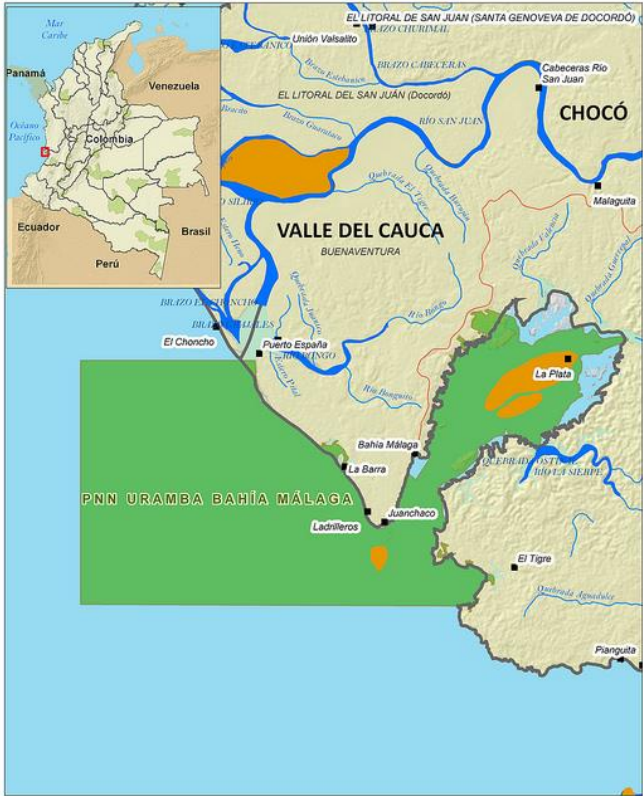
|              | 20,314                   | 4,0628   | 16,2512     | 8,433                    | 6,7464 | 1,6866     | 11,179518           | 6,295712  | 2,036848 | 3,633922          | 6,776   | 5,0336   | 7,5504  |
|--------------|--------------------------|----------|-------------|--------------------------|--------|------------|---------------------|-----------|----------|-------------------|---------|----------|---------|
|              | Socio-cultural (40.628%) |          |             | Económico Adm. (16.866%) |        |            | Ambiental (23.146%) |           |          | Técnica (19.360%) |         |          |         |
| Alternativas | Acept-Soc                | Org-Part | Cost-Social | Cost-Ben.                | NCV    | Log en Rev | Area-Interv.        | Afec-Esp. | C-CLIM   | GGEFI             | Cal-Sys | Cal-Serv | Cap-Sys |
| Solar        | 4,5                      | 5        | 4           | 0,897                    | 0,5    | 30         | 3                   | 1         | 1        | 1                 | 5       | 5        | 5       |
| Eólica       | 0                        | 0        | 0           | 0                        | 0      | 0          | 0                   | 0         | 0        | 0                 | 0       | 0        | 0       |
| Biomasa      | 3,5                      | 4,5      | 2           | 1,658                    | 0,6    | 10         | 3                   | 3         | 3        | 5                 | 3       | 3        | 2       |
| Hidro        | 5                        | 3,5      | 5           | 2,369                    | 0,9    | 15         | 5                   | 4         | 5        | 2                 | 4       | 4        | 3       |
| Diesel       | 0                        | 1        | 2           | 0,589                    | 0,4    | 40         | 2                   | 3         | 3        | 5                 | 3       | 5        | 4       |

Aplicamos técnica TOPSIS:

...el principio básico es que la alternativa elegida debe tener la “distancia más corta” a la solución ideal positiva y la “distancia más larga” a la solución ideal negativa (Jahanshahloo et al, 2006).

| Alternativa | Ri    |
|-------------|-------|
| Solar       | 0,712 |
| Eólica      | 0,000 |
| Biomasa     | 0,589 |
| Hidro       | 0,883 |
| Diesel      | 0,357 |
| MAX Ri      | 0,883 |

# RESULTADOS



Los criterios: Cada criterio debe definir sub-criterios  
 Los criterios deben tener indicadores medibles cuantitativa o

|                       |                     |              |           |                   |          |          |          |         |        |
|-----------------------|---------------------|--------------|-----------|-------------------|----------|----------|----------|---------|--------|
|                       | 6,7464              | 1,6866       | 11,179518 | 6,295712          | 2,036848 | 3,633922 | 6,776    | 5,0336  | 7,5504 |
| Simico Adm. (16.866%) | Ambiental (23.146%) |              |           | Técnica (19.360%) |          |          |          |         |        |
| NCV                   | Log en Rev          | Area-Interv. | Afec-Esp. | C-CLIM            | GGEFI    | Cal-Sys  | Cal-Serv | Cap-Sys |        |
| 0,5                   | 30                  | 3            | 1         | 1                 | 1        | 5        | 5        | 5       | 5      |
| 0                     | 0                   | 0            | 0         | 0                 | 0        | 0        | 0        | 0       | 0      |
| 0,6                   | 10                  | 3            | 3         | 3                 | 5        | 3        | 3        | 2       | 2      |
| 0,9                   | 15                  | 5            | 4         | 5                 | 2        | 4        | 4        | 3       | 3      |
| 0,4                   | 40                  | 2            | 3         | 3                 | 5        | 3        | 5        | 4       | 4      |

...s que la alternativa  
 distancia más corta”  
 positiva y la “distancia  
 ción ideal negativa  
 06).

| Alternativa | Ri    |
|-------------|-------|
| Solar       | 0,712 |
| Eólica      | 0,000 |
| Biomasa     | 0,589 |
| Hidro       | 0,883 |
| Diesel      | 0,357 |
| MAX Ri      | 0,883 |

# RESULTADOS



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

## PROYECTO “METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES DE MICRO REDES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS (ZNI) DE COLOMBIA”

Salida de Campo tipo Dx (Diagnóstico): Comunidad de La Plata-Bahía Málaga Buenaventura

|               | D1 16 de marzo, Viernes  | D2 17 de marzo, Sábado   | D3 domingo 18 de marzo   | D4 Lunes 19 Marzo                   |
|---------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 8:00am - 12.m | <b>Salida: 7:00 am</b><br>Cali -Buenaventura<br>10:00 am<br>Buenaventura-Juanchaco<br>11:00 am<br>Juanchaco-La Plata   | <b>Identificación de sitios</b><br><br>Para posibles instalaciones<br>Medición. Visita a puntos<br>donde se dispone de<br>Internet, Planta eléctrica y<br>Salud            | <b>Dx Dimensión ambiental</b><br>Inventario global de flora y<br>fauna.<br>Aspectos en Salud.<br>Visitas domicilios        | Conclusiones:<br><br>Retorno a Cali |
|               | Almuerzo   |  |  |                                     |
| 2:00- 6:00 pm | <b>Reunión con representantes comunidad</b><br>Llevar formato de<br><b>Autorización para toma de Fotografías y videos.</b><br><b>Presentación plan de visita</b><br>Y Taller Diagnóstico | <b>Aspectos Socioeconómicos y ambientales.</b><br>Visita pesquero.<br>Ruta de la piangua.<br>Análisis posibles<br>Proyectos productivos.<br><b>Taller Dx con comunidad</b> | <b>Dimensión Socio cultural</b><br>Identificación de Prácticas culturales.<br>Conversación con gestores culturales, otros. |                                     |
| 8:00 pm       | Reunión equipo de trabajo<br>Revisión plan y ajustes al mismos   | Reunión equipo de trabajo<br>Socialización de observaciones  | Reunión equipo de trabajo  |                                     |

# RESULTADOS



## CONCLUSIONES

Es de suma importancia conocer las necesidades reales de la comunidad a impactar, el diagnóstico es un paso fundamental en la aplicación metodológica.

La aceptación social de la tecnología, debe ir acompañado con un proceso de transferencia tecnológica a la comunidad.

Los retos tecnológicos son grandes, debemos crear empresas de base tecnológica centradas en el diseño de aplicaciones a medidas, haciendo que la transferencia de la tecnología, la renovación de la misma y su uso diario sea realizado por el personal de la comunidad.

Creación de conciencia en el consumo de la energía eléctrica, es fundamental para la sostenibilidad de cualquier programa de energización en zonas no interconectadas.

# Preguntas

